

核技术利用建设项目

重庆市武隆区人民医院
内科综合楼建设项目（辐射部分）
环境影响报告表
（公示版）

建设单位：重庆市武隆区人民医院

编制单位：重庆朕尔医学研究院有限公司

编制时间：2025年7月

生态环境部监制



核技术利用建设项目

重庆市武隆区人民医院 内科综合楼建设项目（辐射部分） 环境影响报告表

建设单位名称：重庆市武隆区人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址：重庆市武隆区凤山街道建设东路3号

邮政编码：408500

联系人：吴家均

电子邮箱：8*****2@qq.com

联系电话：15*****88

打印编号: 1750991003000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	346848		
建设项目名称	重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目（辐射部分）		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	重庆市武隆区人民医院		
统一社会信用代码	125002324520495340		
法定代表人（签章）	曹元秀		
主要负责人（签字）	邵兵		
直接负责的主管人员（签字）	李刚		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	重庆朕尔医学研究院有限公司		
统一社会信用代码	91500103MA5U53FM41		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
孟楠	2016035410352015411801000074	BH005013	孟楠
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
孟楠	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物（重点是放射性废弃物）、评价依据、保护目标与评价标准	BH005013	孟楠
李高福	环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	BH064832	李高福
刘涛	环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护	BH063232	刘涛

重庆市武隆区人民医院
关于同意对《重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目
(辐射部分)环境影响报告表》(公示版)
进行公示的说明

重庆市生态环境局:

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》等有关规定,我院委托重庆朕尔医学研究院有限公司编制了《重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目(辐射部分)环境影响报告表》,报告表内容及附图附件等资料均真实有效,我院作为环境保护主体责任,愿意承担相应的责任。报告表(公示版)不涉及技术和商业秘密的章节。我院同意对报告表(公示版)进行公示。

特此说明。

重庆市武隆区人民医院

2025年7月



环评编制主持人职业资格证书（复印件）



目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	13
表 3 非密封放射性物质.....	13
表 4 射线装置.....	14
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	15
表 6 评价依据.....	16
表 7 保护目标与评价标准.....	19
表 8 环境质量和辐射现状.....	33
表 9 项目工程分析与源项.....	36
表 10 辐射安全与防护.....	56
表 11 环境影响分析.....	86
表 12 辐射安全管理.....	121
表 13 结论与建议.....	131

附图

附图 1 拟建项目地理位置图

表 1 项目基本情况

建设项目名称		重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目（辐射部分）			
建设单位		重庆市武隆区人民医院			
法人代表	曹元秀	联系人	吴家均	联系电话	15*****88
注册地址		重庆市武隆区凤山街道建设东路 3 号			
项目建设地点		重庆市武隆区凤山街道建设东路 3 号重庆市武隆区人民医院红线范围内南侧地块新建直线加速器楼 1F 和西北侧地块新建内科综合楼 10F			
立项审批部门		重庆市武隆区发展和改革委员会	批准文号	2020-500156-84-01-143736	
建设项目总投资（万元）		6000	项目环保投资（万元）	120	投资比例（环保投资/总投资） 2.0%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ） /
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
其他	/				

1.1 建设单位概况

重庆市武隆区人民医院（以下简称：医院）始建于 1949 年，是一所集医疗、教学、科研、预防、康复保健、急救为一体的国家二级甲等综合医院，目前正在创建三级甲等综合医院。医院设有呼吸与危重症医学科、消化内科、神经疾病科、肿瘤血液胸外科、泌尿肾病科、儿科、普通外科、骨科、妇科、产科、麻醉手术科、重症医学科、急救部、全科医疗科、康复医学科、眼耳鼻咽喉、口腔科、疼痛科及烧伤整形皮肤美容科等临床科室，设有检验科、放射科、超声科、功能科、病理科、供应室、药剂等 7 个辅助科室，设有党政办公室、财务科、医务部、护理部等行政职能科室。

为了改善医院硬件条件，加快三级甲等医院的创建，提升医院的服务能力和水平，促进武隆区卫生健康事业的高质量发展，满足人民群众日益增长的卫生健康服务的需

要，医院提出了重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目，《重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目环境影响报告表》于2024年6月取得了重庆市武隆区生态环境局环评批复：渝（武）环准（2024）12号，详见附件2；该项目建设内容为：主体工程包括建设1栋25层的内科综合楼（-2F~23F），南侧裙楼用作停车楼；内科综合大楼与现有外科大楼连通，项目门诊接待约2000人·次/d，设置住院床位485张，主要科室有预防保健科、全科医疗科、内科、妇产科、妇女保健科、儿科、小儿外科、眼科、耳鼻咽喉科、口腔科、医疗美容科；美容外科、肿瘤科、急诊医学科、康复医学科、麻醉科、疼痛科、重症医学科、医学检验科、病理科、医学影像科、中医科等；总建筑面积101609.51m²，其中地上建筑面积88520.41m²，地下建筑面积13089.10m²，新增劳动定员515人，其中医护人员480人，行政后勤人员35人。

1.2 项目由来

重庆市武隆区内科综合楼建设项目于2020年8月3日取得了“立项批复”，批复文号：武隆发改发（2020）177号，主要内容为同意医院作为项目法人开展重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目的前期工作，内科综合楼建设项目（项目代码：2020-500156-84-01-143736）主要内容包括医技楼、内科综合楼、停车楼和直线加速器楼，已于2023年11月22日取得了“投资概算批复”，批复文号：武隆发改发（2023）359号，详见附件2。

根据医院建设发展计划，拟在内科综合楼10F建设DSA机房及其配套辅助用房，拟在医院占地红线南侧新建直线加速器楼，并配置医用电子直线加速器、CT模拟定位机、医用血管造影X射线机开展诊断、治疗工作。根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（原环境保护部国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号），医用电子直线加速器、医用血管造影X射线机属于II射线装置，CT模拟定位机属于III射线装置。

为加强射线装置的辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保射线装置的使用不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国环境影响评价法》等相关法律法规要求，本项目应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（中华人民共和国生态环境部令第16号）的“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目”可知，使用II类射线装置的项目环境影响评价形式为编制环境影响报告表，使

用Ⅲ类射线装置的项目环境影响评价形式为填报环境影响登记表；本项目使用Ⅱ类射线装置、Ⅲ类射线装置，本评价按照单项等级最高的进行评价，编制环境影响报告表。

为此，重庆市武隆区人民医院委托重庆朕尔医学研究院有限公司开展“重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目（辐射部分）”（简称“本项目”）的环评工作。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘查、收集资料和现状监测等工作，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）等规定要求编制完成本环境影响报告表。

1.3 评价思路

（1）本项目属于医院内科综合楼建设项目的一部分，其设计、建设与整体建设工程同步进行，其中内科综合楼施工期环境影响已在《重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目环境影响报告表》中进行详细分析，因此，本次对 DSA 机房施工期的环境影响仅进行简要描述；直线加速器楼单独填报了环境影响登记表，详见附件 2。

（2）本项目所列设备涉及的参数，依据医院提供的相关信息，并参考重庆市其他医院已投入使用的设备的常规参数。

（3）本项目 DSA 机房辐射工作人员和就诊人员已纳入内科综合楼建设项目总定员范围内，其产生的一般生活废水、生活垃圾、医疗废物等依托内科综合楼、停车楼公用设施；本项目直线加速器机房及 CT 模拟定位机房辐射工作人员和就诊人员为医院现有工作人员和部分新增人员，其产生的一般生活废水、生活垃圾等依托直线加速器楼、停车楼公用设施。

1.4 项目概况

1.4.1 项目用房现状

本项目放疗中心拟位于医院红线范围内南侧地块新建直线加速器楼（1F/3F）1F，DSA 机房拟位于医院红线范围内西北侧地块新建内科综合楼（-2F/23F）10F；目前内科综合楼正在进行场地平整及基础施工，直线加速器楼正在进行场地平整及挡墙施工。

1.4.2 项目组成

（1）项目名称：重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目（辐射部分）

（2）建设地点：医院红线范围内南侧地块新建直线加速器楼 1F 和西北侧地块新建内科综合楼 10F

（3）建设性质：新建

(4) 建设单位：重庆市武隆区人民医院

(5) 建设规模：拟在新建直线加速器楼 1F 和内科综合楼 10F 内实施“重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目（辐射部分）”，该项目总建筑面积约 940m²，建设内容包括放疗中心和介入用房。放疗中心拟位于医院直线加速器楼 1F，建筑面积约 810m²，主要建设 1 间直线加速器机房、1 间 CT 模拟定位机房及其配套辅助用房；拟配置 1 台 10MV 医用电子直线加速器（II类射线装置）、1 台 CT 模拟定位机（III类射线装置）开展肿瘤治疗工作。介入用房拟位于内科综合楼 10F 手术中心北侧中部，建筑面积约 130m²，主要建设 1 间 DSA 机房及其配套辅助用房，拟配置 1 台医用血管造影 X 射线机（以下简称 DSA，II类射线装置，单管头），用于开展介入手术。

(6) 项目投资：总投资约 6000 万元，环保投资约 120 万元。

(7) 施工期：24 个月。

根据项目特点，本项目主要由主体工程、辅助工程、公用工程、环保工程四部分组成，项目组成情况见表 1-1。

表 1-1 项目组成一览表

序号	项目	组成	备注	
一	主体工程		/	
1	放疗中心	工作场所	放疗中心拟位于医院直线加速器楼（1F/3F）1F，内设 1 间直线加速器机房，有效内空尺寸：8.2m×7.5m×4.2m（不含迷路），吊顶后高 3.2m；1 间 CT 模拟定位机房，有效内空尺寸：7.03m×5.5m×4.0m，吊顶后高 3.0m，并配置控制室、设备间等功能用房。	新建
		设备	①医用电子直线加速器：1 台，设备型号：待定，X 射线能量：10MV，属于 II 类射线装置，X 射线最大输出剂量率≤2400cGy/min；电子线最大能量≤20MeV，电子线最大输出剂量率≤2400cGy/min，并集成一个 CBCT（最大电压 150kV、最大电流 1000mA）进行定位验证。 ②CT 模拟定位机：1 台，设备型号：待定，最大管电压为 140kV，最大管电流为 1000mA，属于 III 类射线装置。	新购
2	介入用房	工作场所	介入机房拟位于内科综合楼（-2F/23F）10F 手术中心北侧，设 1 间 DSA 机房，有效内空尺寸：7.25m×10.0m×4.5m，吊顶后高 3.6m，并配置控制室、设备间等功能用房。	新建
		设备	1 台 DSA（II 类射线装置，单管头），设备型号：待定，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA，属于 II 类射线装置。	新购
二	辅助工程		/	
1	放疗中心	放疗中心拟设置计划室、制模室、物理室、护士站、阅片及医生办公室等。	新建	
2	介入用房	依托内科综合楼 9F、10F 手术中心相应用房，拟设置有缓冲、控制室、设备间、麻醉复苏间、麻醉药品间、无菌存储室、缓冲间、谈话间、一次性储藏间、污物暂存间、更衣、换鞋、楼梯间、术间休息等。	新建	
三	公用工程		/	

1	给水	由市政供水管网提供，依托院内供水管网。		新建
2	排水	实行雨污分流制度，雨水直接进入市政雨水管道；本项目各机房产生产污水经内科综合楼-2F规划埋地式污水处理站预处理达标后，依托医院总排放口排入市政污水管网，至武隆区污水处理厂处理，达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A级标准后外排乌江。		新建
3	供配电	由市政电网供电，依托医院供配电系统；同时在内科综合楼-2F设置柴油发电机房，配备1台柴油发电机，解决停电时临时需要。		新建
4	通风	放疗中心	直线加速器机房拟单独设置1套机械通排风系统，设置2个送风口、2个排风口，采用“上送下出”，进风口和出风口对角设置，排风风量约6820m ³ /h，机房通风换气次数为17次/h。CT模拟定位机机房拟设置机械排风系统，与放疗中心其他区域共享一套通排风系统。	新建
		DSA机房	DSA机房拟设置机械通风系统，与内科综合楼10F手术中心其他区域共享一套通风系统。	新建
四	环保工程			/
1	废水	本项目各机房产生的少量废水经院内污水管网收集至内科综合楼-2F规划埋地式污水处理站（设计处理能力800m ³ /d），处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）预处理排放标准后，依托医院总排放口排入市政污水管网，达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A级标准后外排乌江。		新建
2	废气	放疗中心	直线加速器机房拟单独设置1套排风系统，废气经排风管道至直线加速器机房西侧依托直线加速器楼排风井引至楼顶排放；CT模拟定位机房拟与放疗中心其他各房间共用1套排风系统，废气经排风管道至直线加速器机房西侧依托直线加速器楼排风井引至楼顶排放。	新建
		DSA机房	DSA机房拟设置独立机械排风系统，废气经排风管道引至同层北侧墙体室外排放。	新建
3	固废	内科综合楼10F拟设置DSA污物清洗、打包间，介入手术产生的医疗废物在DSA机房收集后于内科综合楼10F DSA污物清洗打包间内清理、消毒、打包、临时暂存，当天运至停车楼-2F规划医疗废物贮存点（58.85m ² ），医疗废物贮存点按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）进行防渗、防腐、硬化处理；医疗废物定期交由有资质的单位处理；内科综合楼产生的生活垃圾暂存于停车楼-2F规划生活垃圾暂存处（建筑面积58.85m ² ），交由市政环卫部门统一收运处理；直线加速器楼设置足够数量的生活垃圾桶，每日清理，交由市政环卫部门统一收运处理；加速器机头更换组件由厂家或维修单位按相关规定进行处理；报废的DSA和直线加速器CBCT按照要求对其装置内的X射线管进行去功能化，做好相关记录存档；本项目拟配置的铅衣、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽、铅防护眼镜、介入防护手套等含铅防护用品，在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后由医院收集妥善保存。		新建
4	辐射防护	放疗中心各机房和DSA机房的四周墙体、顶棚、地板、防护门、观察窗采用足够厚的屏蔽材质（混凝土、实心砖、铅板、硫酸钡水泥、铅玻璃等）进行辐射屏蔽防护；设置对讲装置、门灯联动、电离辐射警示标志、工作状态指示灯、急停开关等。		新建

1.5 辐射防护设计方案

根据医院提供的资料，项目辐射防护设计方案见表 1-2。

表1-2 辐射防护设计方案设计

位置	名称	房间尺寸	防护方案	
放疗中心				
放疗中心	直线加速器机房	有效内空尺寸： 8.2m×7.5m×4.2m (不含迷路)，吊 顶后高3.2m，有效 使用面积61.5m ² 。	东、西墙	主屏蔽墙：3200mm 混凝土 与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1700mm 混凝土 主屏蔽墙带宽：4000mm
			南墙	侧屏蔽墙：1700mm 混凝土
			北墙	迷路内墙：1500mm 混凝土 迷路外墙：800~1600mm 混凝土 迷路内口尺寸：2300mm（宽）×5650mm（高）
			顶棚	主屏蔽墙：3300mm 混凝土 顶棚与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙：1800mm 混凝土 主屏蔽墙带宽：4000mm（外凸）
			防护门	门洞尺寸1800mm（宽）×2400mm（高），防护 门尺寸2200mm（宽）×2750mm（高） 防护屏蔽：15mmPb 防护门上方屏蔽墙：1300mm 混凝土
	CT模拟定位机房	有效内空尺寸： 7.03m×5.5m×4.0m , 吊顶后高3.0, 有效使用面积 38.7m ² 。	北墙、西墙	墙体：370mm 实心砖
			南墙	墙体：300mm 混凝土
			东墙	墙体：1700mm 混凝土
			顶棚	顶棚：200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥
			防护门	防护门：内嵌4mmPb 铅板
	观察窗	观察窗：4mmPb		
内科综合楼10F DSA 机房				
内科综合楼10F	DSA 机房	有效内空尺寸： 7.25m×10.0m×4.5m , 吊顶后高3.6, 有效使用面积 72.5m ² 。	四面墙体：轻钢龙骨+3mmPb 铅板 顶棚、地板：150mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥 防护门：内嵌3mmPb 铅板 观察窗：3mmPb	
注：1.铅密度11.3 g/cm ³ ，混凝土密度2.35g/cm ³ ，实心砖密度1.65 g/cm ³ ，硫酸钡水泥密度3.2g/cm ³ （后文不再赘述）；2.放疗中心楼下为基土层（人员无法到达）。				

1.6 设备配置

放疗中心各机房、内科综合楼DSA机房的配套设施设备见表 1-3。

表1-3 设施设备配置一览表

放疗中心					
序号	名称	数量	位置	用途	备注
1	医用电子直线加速器	1台	直线加速器机房内	肿瘤治疗	拟购，II类射线装置
2	CT模拟定位机	1台	CT模拟定位机机房内	肿瘤定位	拟购，III类射线装置

3	监控对讲系统	1套	直线加速器机房	监控机房内情况、双向沟通	/
4	精密空调	2台	直线加速器、CT模拟定位机机房内	机房内温控	/
5	供电系统	2套	直线加速器、CT模拟定位机的控制室	保证设备供电稳压	/
6	冷却系统	1套	直线加速器辅助机房	为设备散热	水冷，循环系统
7	固定剂量报警仪	1台	直线加速器机房内	监控机房内剂量	/
8	个人剂量报警仪	3台	进入加速器机房内的辐射工作人员	剂量报警	/
9	激光定位系统	2套	直线加速器、CT模拟定位机机房内	摆位定位	/
10	除湿机	2台	直线加速器、CT模拟定位机机房内	湿度控制	/
11	防辐射裙、防辐射围领	2套	CT模拟定位机机房内	辐射防护	新购，成人、儿童各一套
12	个人剂量计	按需	辐射工作人员	/	每名辐射工作人员佩戴1枚
13	X-γ辐射巡测仪	1台	直线加速器机房办公室	屏蔽体外剂量监测	/
14	放射治疗计划系统	1套	直线加速器机房办公室	制定放疗计划	/
15	三维水箱	1套	直线加速器机房办公室	直线加速器质控	/
16	剂量水箱	1套	直线加速器机房办公室		/
17	平板电离室矩阵	1套	直线加速器机房办公室		/
18	等中心检测仪	1套	直线加速器机房办公室		/
DSA 机房					
序号	名称	数量	位置	用途	备注
1	DSA 装置	1台	DSA 机房	介入手术	II类射线装置，单管头
2	电源柜	1套	设备间	DSA 配电	DSA 装置配套设备
3	高压发生柜	1套	设备间	DSA 装置高压装置	
4	系统控制柜	1套	设备间	设备控制和数据传输	
5	控制系统	1套	控制室	DSA 装置操作	
6	中心供氧装置	1套	DSA 机房	患者供氧	介入手术配套设备
7	除颤仪	1套	DSA 机房	手术配套用	
8	有创心电监护仪	1套	DSA 机房	手术配套用	
9	高压注射器	1套	DSA 机房	手术配套用	
10	吸痰器	1套	DSA 机房	手术配套用	
11	电生理仪	1套	DSA 机房	手术配套用	
12	中心负压吸引	1套	DSA 机房	手术配套用	
13	麻醉机	1套	DSA 机房	手术配套用	

14	空气消毒机	1套	DSA 机房	空气消毒	
15	铅衣、防辐射裙、防辐射围领、铅橡胶帽、铅防护眼镜	8套	DSA 机房	工作人员防护，0.5mmPb	新购
16	介入防护手套	8双	DSA 机房	工作人员防护，0.025mmPb	新购
17	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏	1套	DSA 机房	工作人员防护，0.5mmPb	设备配套
18	移动铅防护屏风（含观察窗）	1个	DSA 机房	工作人员防护，2mmPb	新购
19	防辐射裙、防辐射围领、铅橡胶帽	2套	DSA 机房	患者防护，0.5mmPb	新购，成人、儿童各一套
20	个人剂量计	若干	DSA 机房和控制室	工作人员个人剂量监测	新购

1.7 项目劳动定员与工作制度

本项目开展的诊疗项目包括：肿瘤放射治疗和DSA 介入手术。为保证本项目的正常运行，拟配置36名工作人员，包括放射肿瘤医师、放疗物理师、物理师、介入手术临床医师、护士、各类射线装置操作技师。医院目前已开展有介入手术诊疗项目，配备有相应工作人员，本项目工作人员拟采用内部调配、培养或新招聘，具体工作人员名单暂未定，拟新增的工作人员将纳入医院总劳动定员中。本项目正式运营后，将涉及介入手术医护人员工作叠加的情况，所有工作人员到岗后均按照辐射工作人员进行管理。

医院年运营365天，本项目各辐射工作人员年工作250天，实行轮休制。

表1-4 本项目劳动定员情况表

科室	医师	技师	护士	物理师	合计
放疗中心	3	4	/	1	8
DSA机房	20	3	5	/	28
合计					36

1.8 工作负荷

根据医院提供的资料，直线加速器机房直线加速器共计年最多接待12000人次，CT模拟定位机年最多接待1200人次；预计年开展DSA介入手术约1000台，手术类型包括心脏介入手术（500台/年）、神经介入手术（100台/年）和综合介入手术（400台/年）。

根据介入手术年工作负荷可知，本项目DSA年透视时间共约341.67h，采集时间约21.69h，总年有效开机时间约363.36h。

1.9 外环境概况

医院本项目拟分别位于医院红线范围内南侧地块新建直线加速器楼 1F 和西北侧地块新建内科综合楼 10F；直线加速器楼目前正在进行场地平整及挡墙施工，内科综合楼建设项目占地范围内部分楼栋已完成拆除工作，并正在进行场地平整及基础施工；尚未开展拆除工作内容包括外科大楼（2 号楼）、发热门诊专用 CT 机房及其楼下设备机房、传染楼（4 号楼）外部分空坝（包括空坝下方洗衣机房及配电房等）及人行道路，未拆除区域为规划停车楼占地范围（后文将以停车楼进行外环境关系描述）。

本项目所在内科综合楼场址北侧为南城中央广场 3、4 号楼、南城中央广场前空坝、建设东路、下穿马路及院内道路；西侧为凤山街道城东村凉子脚组居民楼及商住混合楼，中间为院外支马路、院内道路；南侧为停车楼、院内道路、绿化带、医院住宿楼；东南侧为传染楼、消防水泵房及医废暂存间、院内道路、发热门诊 CT 机房及楼下设备机房（拟拆除）、停车楼（现为外科大楼，拟拆除）；东侧为医技楼、院内道路、门急救综合楼。本项目所在直线加速器楼场址北侧为传染楼、院内道路、消防水泵房、医废暂存间；西侧为凤山街道城东村凉子脚组居民楼、支马路、院内道路；西北侧为医院住宿楼、休闲娱乐区、院内道路；西南侧为林地、支马路、凤山街道城东村凉子脚组居民楼；南侧为林地、支马路；东南侧为林地、支马路；东侧为武隆区气象局、支马路；东北侧为武隆区气象局、凤山街道城东村凉子脚组居民楼、支马路。结合本项目的评价范围，确定本项目的环境保护目标是从事该项目辐射工作人员及辐射工作场所周围 50m 范围内活动的公众成员。医院总平面布置及环境保护目标分布图见附图 2，本项目所在楼外环境见表 1-5。

表 1-5 本项目所在楼外环境关系表

序号	名称	方位	最近水平距离	高差	环境特征
内科综合楼					
1	院内道路	北侧、南侧、 东侧	紧邻	无	院内公共区域
2	建设东路	北侧	约 20m	-3m	市政道路
3	下穿马路	北侧	约 21m	-18m~-3m	市政道路
4	南城中央广场 前空坝	北侧	约 38m	-3m	院外公共区域
5	南城中央广场 3、4 号楼	北侧	约 60m	-3m	院外建筑物
6	院内道路	西侧	紧邻	无	院内道路
7	院外支马路	西侧	约 35m	-13m	院外支马路

8	凤山街道城东村凉子脚组居民楼及商住混合楼	西侧	约 40m	-13m~-3m	院外建筑物
9	停车楼	南侧、东南侧	紧邻	无	院内建筑物
10	绿化带	南侧	约 12m	无	绿化带
11	医院 9 号住宿楼	南侧	约 29m	+17m	院内建筑物
12	传染楼	东南侧	约 38m	+25m	院内建筑物
13	医技楼	东侧	紧邻	无	院内建筑物
14	门急救综合楼	东侧	约 7m	+1m	院内建筑物
直线加速器楼					
1	院内道路	北侧	紧邻	无	院内道路
2	传染楼	北侧	约 11m	-14m	院内建筑物
3	院内道路	西北侧	紧邻	无	院内公共区域
4	休闲娱乐区	西北侧	约 7m	-13m	院内公共区域
5	医院住宿楼	西北侧	约 25m	-13m	院内建筑物
6	支马路	西侧至东北侧	约 3m	无	支马路
7	凤山街道城东村凉子脚组居民楼	西侧至西南侧	约 6m	+10m	院外建筑物
8	林地	西南侧至东南侧	约 6m	+12m	林地
9	武隆区气象局	东南侧至东北侧	约 20m	-8m	院外建筑物
10	凤山街道城东村凉子脚组居民楼	东北侧	约 38m	-16m	院外建筑物

备注：“+”表示高于所在大楼 1F 室外地面，“-”表示低于所在大楼 1F 室外地面。

1.10 项目选址可行性分析

根据现状监测结果，本项目涉及场址的辐射环境质量状况良好，有利于本项目的建设。

本项目放疗中心拟布置在医院占地范围内南侧地块新建直线加速器楼 1F，属于建筑物底层，该区域无地下楼层，不属于公众聚集区域，便于机房的辐射防护与安全，能更好的保护病人及医院工作人员的安全，同时考虑了保守的屏蔽防护方案，对周围环境影响较小。

本项目 DSA 机房拟布置在医院占地范围内西北侧地块新建内科综合楼 10F 手术中心靠北侧中部，与其它科室相对独立，可依托手术中心相应辅助设施用房；手术中心内仅医护人员和病人活动，无其他公众成员停留，远离公众聚集区域，同时考虑了保守的屏蔽防护方案，对周围环境影响较小。

因此，从辐射防护与环境保护角度，项目选址可行。

1.11与项目有关的环境保护问题

1.11.1 项目用房的环保手续情况

本项目拟分别位于医院红线范围内南侧地块新建直线加速器楼 1F 和西北侧地块新建内科综合楼 10F；新建内科综合楼已于 2024 年 6 月 27 日取得了重庆市武隆区生态环境局下发的《重庆市建设项目环境影响评价文件批准书》（渝（武）环准〔2024〕12 号）；直线加速器楼已于 2025 年 5 月 14 日完成了建设项目环境影响登记表备案工作，备案号：202550023200000031，详见附件 2。目前内科综合楼正在进行场地平整及基础施工，直线加速器楼正在进行场地平整及挡墙施工。详见支撑性材料附件。

1.11.2 医院核技术利用项目开展情况

医院已取得《辐射安全许可证》（渝环辐证[00557]，有效期至2027年07月11日），医院许可的核技术利用项目包括使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所。

根据现场调查，医院非密封放射性物质、现有射线装置具体情况见表1-6、1-7所示。

表 1-6 医院非密封放射性物质一览表

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量（贝可）	年最大用量（贝可）	备注
1	门急诊综合楼十四楼	丙级	I-125（粒子源）	7.1E+6	8.88E+10	已上证

表 1-7 医院现有射线装置一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	数量	工作场所	备注
1	全身 X 射线计算机断层扫描系统(64排 CT)	Revolution EVO	III类	1 台	门急诊综合楼二楼：放射科 CT 二室	已上证
2	医用血管造影 X 射线机（DSA）	Innova IGS 5	II类	1 台	门急诊综合楼四楼：放射科介入手术室	已上证
3	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备（口腔 CT）	Pianmecca ProMax 3D	III类	1 台	原外科大楼三楼：东北侧口腔 CT 室	已上证
4	数字 X 线摄影系统（移动 DR）	MUX-200D	III类	1 台	门急诊综合楼二楼：放射科	已上证
5	数字 X 线摄影系统（双板 DR）	RADspeedPro80	III类	1 台	门急诊综合楼二楼：放射科照片一室	已上证
6	多功能数字化移动式 C 臂 X 线成像系统	OPESCOPEACTENO	III类	1 台	门急诊综合楼四楼：手术室	已上证
7	全身用 X 射线计算机体层摄影装置（16 排 CT）	BrightspeeElite Select	III类	1 台	原内科大楼一楼发热门诊：西北侧新建独立平房内	已上证
8	X 射线计算机体层摄影设备（CT 机）	Revolution Ace ES M	III类	1 台	门急诊综合楼二楼	已上证
9	移动式 C 臂 X 线成像系统	Cios Select	III类	1 台	门急诊综合楼四楼：手术室	已上证

医院已委托有资质单位对现有各辐射场所的屏蔽能力进行了监测，屏蔽能力满足要求，医院上述设备的手续齐全，运行至今使用情况良好。经调查，医院已为每名辐射工作人员配置个人剂量计，建立个人剂量监测档案和职业健康体检档案；医院 2024 年度个人剂量监测总人数为 96 人（含规培人员 10 名），医院现有辐射工作人员为 86 人，本项目涉及医院已开展介入手术诊疗项目 28 名辐射工作人员 2024 年度个人剂量监测结果在 0.20~2.37mSv/a 之间，医院其他现有辐射工作人员 2024 年度个人剂量监测结果在 0.20~2.39mSv/a 之间，均满足医院辐射工作人员年有效剂量管理目标值 5mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。医院现有辐射工作人员均已参加辐射安全防护培训并取得医用 X 射线诊断与介入放射学类合格单或自主考核合格。医院运营至今，未发生辐射事故，也未产生辐射环保纠纷，无相关环保遗留问题。

1.11.3 与医院整体的依托可行性分析

本项目依托可行性分析详见表 1-8。

表1-8 本项目依托可行性分析

依托工程	可行性分析	结论
主体工程	本项目各功能用房与其所在大楼主体同时设计，设计时已综合考虑布局及结构承重等。	依托可行
辅助工程	本项目各辅助用房与同主体同时设计，已综合考虑布局及结构承重等。	依托可行
辐射工作人员	医院现已开展有核医学科（粒子植入）、DSA 介入手术、影像诊断等诊疗项目，配备有相应的辐射工作人员，本项目拟延用部分辐射工作人员。医院现有辐射工作人员按照要求定期进行辐射防护培训、个人剂量监测和职业健康检查。本项目运行后，原有辐射工作人员和新入职工作人员将继续按照相关规范进行各项辐射防护管理工作。辐射工作人员依托可行。	依托可行
辐射安全管理	医院已经建立了辐射防护管理组织与机构，设置了专人负责管理医院辐射防护工作，本项目依托并根据本项目实际情况完善医院现有管理体系，同时在项目运行前制定专项管理制度。	依托可行

根据上表可知，本项目依托医院主体结构、辅助工程、辐射工作人员和辐射安全管理是可行的。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
本项目不涉及。								

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
本项目不涉及。										

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II	1	待定	电子	X 射线: 10MV 电子线: 20MeV	X 射线≤2400cGy/min 电子线≤2400cGy/min CBCT 额定管电压: 150kV 额定管电流 1000mA	肿瘤治疗	放疗中心 直线加速器机房	/
以下空白										

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA 装置	II	1	待定	125	1000	介入诊疗	内科综合楼 10F DSA 机房	/
2	CT 模拟定位机	III	1	待定	140	1000	肿瘤定位	放疗中心 CT 模拟定位机房	/
以下空白									

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
本项目不涉及。													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	/	排风管道引至室外排放
医疗废水、生活污水	液态	/	/	/	/	/	/	本项目各机房产生污水经内科综合楼-2F规划埋地式污水处理站预处理达标后，依托医院总排放口排入市政污水管网，至武隆区污水处理厂处理达标后，最终外排乌江。
生活垃圾	固态	/	/	/	/	/	/	交由市政环卫部门处置
医疗废物	固态	/	/	/	/	/	/	交由有资质单位处理
报废的 DSA、直线加速器 CBCT	固态	/	/	/	/	/	/	按照要求对其装置内的 X 射线管进行去功能化，做好相关记录存档
铅防护用品	固态	/	/	/	/	/	/	由医院收集妥善保存
加速器机头更换组件	固态	/	/	/	/	/	/	由厂家或维修单位按相关规定进行处理
本项目不产生放射性废物。								

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日最新修正；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行修订版；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日施行修订版；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年 3 月 2 日施行修订版；</p> <p>(7) 《医疗废物管理条例》，2011 年 1 月 8 日施行修订版；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021 年 1 月 4 日施行修改版；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，自 2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，自 2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(12) 《国家危险废物名录（2025 年版）》，自 2025 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(13) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，自 2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>(14) 《重庆市环境保护条例》，2022 年 11 月 1 日修订版实施；</p> <p>(15) 《重庆市辐射污染防治办法》，自 2021 年 1 月 1 日起施行。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p>

	<p>(4) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）；</p> <p>(5) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(6) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>(7) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(8) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）</p> <p>(9) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>(10) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(11) 《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）；</p> <p>(12) 《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020）；</p> <p>(13) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；</p> <p>(14) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）；</p> <p>(15) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）；</p> <p>(16) 《医疗废物集中处置技术规范（试行）》（环发〔2003〕206号）；</p> <p>(17) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素（一）》（GBZ2.1-2019）；</p> <p>(18) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）。</p>
其他	<p>(1) 评价内容确认函，见支持性材料附件 1；</p> <p>(2) 重庆市企业投资项目备案证，见支持性材料附件 2；</p> <p>(3) 环境现状监测报告—渝朕辐环检字[2025]0005 号，见支持性材料附件 9；</p> <p>(4) 医院环评批准书、建设项目环境影响登记表备案，见支持性材料附件 2；</p> <p>(5) ICRP33 号报告、NCRP144 号报告、NCRP 147 号报告；</p> <p>(6) 《辐射防护导论》；</p> <p>(7) 《辐射防护手册》—（第三分册）辐射安全；</p> <p>(8) 《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版</p>

社)；

(9) 《辐射防护技术与管理》；

(10) 《辐射所致臭氧的估算与分析》(王时进等)；

(11) 《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》(中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期)；

(12) 医院提供的图纸、防护方案、支撑性文件、制度等其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，确定以本项目放疗中心各机房和 DSA 机房实体屏蔽物外 50m 区域作为辐射环境的评价范围，医院平面布置图及环境保护目标分布图见图 2。

7.2 环境保护目标

（1）直线加速器机房

本项目直线加速器机房拟位于医院红线范围内南侧地块新建直线加速器楼 1F 靠东南侧，机房北侧紧邻为控制室、设备间、过道；西侧紧邻为过道、CT 模拟定位机房；南侧为基土层（人员无法到达）；东侧紧邻为办公室、风井；机房楼上紧邻为车库；楼下为基土层（人员无法到达）。

机房周围 50m 范围内主要包括医院红线范围内院内道路、传染楼、消防水泵房、医废暂存间、发热门诊 CT 机房及楼下设备机房（后期拟拆除）及机房外四周各房间；医院红线范围外凤山街道城东村凉子脚组居民楼、支马路、林地、气象局办公楼、气象局门卫亭、气象局露天停车坝及地下停车库。

（2）CT 模拟定位机房

本项目 CT 模拟定位机房拟位于医院红线范围内南侧地块新建直线加速器楼 1F 靠东南侧，与直线加速器机房相邻；机房北侧紧邻为过道；西侧紧邻为控制室；南侧为基土层（人员无法到达）；东侧紧邻为直线加速器机房；机房楼上紧邻为医生办；楼下为基土层（人员无法到达）。

机房周围 50m 范围内主要包括医院红线范围内院内道路、传染楼、消防水泵房、医废暂存间及机房外四周各房间；医院红线范围外凤山街道城东村凉子脚组居民楼、支马路、林地、气象局办公楼、气象局门卫亭、气象局露天停车坝及地下停车库。

放疗中心各机房周围 50m 评价范围内环境保护目标的名称、规模及其与本项目的方位和距离详见表 7-1。

表 7-1 放疗中心各机房周围环境保护目标情况一览表

编号	工作场所	名称	方位	水平距离	高差	环境特征	人员类型	规模	影响因素
1	直线加速器机房	控制室	北侧	约 0~3m	无	项目辅助用房	辐射工作人员	约 5 人	电离辐射
2		设备间	北侧	约 0~3m	无	项目辅助用房	公众成员	约 2 人	
3		过道	北侧至西侧	约 0~27m	无	院内公共区域	公众成员	约 20 人	
4		楼梯间	北侧	约 3~6m	无	院内公共区域	公众成员	约 6 人	
5		院内道路	北侧至西侧	约 6~50m	-5m~0m	院内公共区域	公众成员	约 25 人	
6		消防水泵房	北侧至西北侧	约 18~31m	-2m~0m	医院用房	公众成员	约 2 人	
7		医废暂存间	北侧	约 18~24m	-2m~0m	医院用房	公众成员	约 2 人	
8		传染楼	北侧至西北侧	约 24~50m	-5m~0m	医院用房	公众成员	约 100 人	
9		发热门诊 CT 机房及楼下设备机房（后期拟拆除）	北侧	约 46~50m	-8m~0m	医院用房	公众成员	约 5 人	
10		CT 模拟定位机房	西侧	约 0~7m	无	项目辅助用房	辐射工作人员、公众成员	约 3 人	
11		CT 模拟定位机房控制室、计划室、物理室、制模室、护士站、阅片/医生办公室等放疗辅助用房	西侧	约 7~23m	无	项目辅助用房	公众成员	约 20 人	
12		水井、门厅、强电、弱电、楼梯间、处置室、清洁间、卫生间等	西侧	约 18~33m	无	院内公共区域、医院用房	公众成员	约 10 人	
13		诊室	西侧	约 27~33m	无	医院用房	公众成员	约 5 人	
14		支马路	西侧至东北侧	约 0~50m	-9m~+10m	支马路	公众成员	约 15 人	
15		凤山街道城东村凉子脚组居民楼及空坝	西侧至西南侧	约 18~50m	+10m~+12m	院外建筑物	公众成员	约 50 人	
16		林地	西南侧至东南侧	约 6~50m	+12m~+50m	林地	公众成员	约 2 人	

17		办公室	东北侧至 东侧	约 0~7m	无	医院用房	公众成员	约 12 人
18		气象局办公楼	东北侧至 东南侧	约 13~ 50m	+8m	院外 建筑物	公众成员	约 160 人
19		气象局门卫亭	东北侧	约 16~ 19m	-2m	院外 建筑物	公众成员	约 2 人
20		气象局露天停车坝及 地下停车库	东北侧	约 16~ 50m	-7m~ -2m	院外公共 区域	公众成员	约 8 人
21		凤山街道城东村凉子 脚组居民楼	东北侧	约 43~ 50m	-7m	院外 建筑物	公众成员	约 10 人
22		直线加速器楼 (3F~楼顶)	楼上(正 上方)	/	+7.5m ~ +11.2m	车库	公众成员	约 10 人
23		直线加速器楼 (2F~楼顶)	楼上(斜 上方)	/	+4m~ +11.2m	医院用 房、车库	公众成员	约 40 人
24	CT 模 拟定 位机 房	过道	北侧	约 0~ 13m	无	院内公共 区域	公众成员	约 16 人
25		阅片、医生办公室	北侧至西 北侧	约 3~ 13m	无	项目辅助 用房	公众成员	约 8 人
26		院内道路	东北侧至 西北侧	约 7~ 50m	无	院内公共 区域	公众成员	约 12 人
27		消防水泵房	东北侧至 西北侧	约 25~ 34m	-2m~ 0m	医院用房	公众成员	约 2 人
28		医废暂存间	东北侧	约 26~ 33m	-2m~ 0m	医院用房	公众成员	约 2 人
29		传染楼	北侧至西 北侧	约 34~ 50m	-5m~ 0m	医院用房	公众成员	约 100 人
30		控制室	西侧	约 0~2m	无	项目辅助 用房	辐射工作 人员	约 3 人
31		阅片/医生办公室、计 划室、物理室、制模 室、护士站等	北侧至西 南侧	约 2~ 16m	无	项目辅助 用房	公众成员	约 16 人
32		水井、门厅、强电、 弱电、楼梯间、处置 室、清洁间、卫生间 等	西北侧至 西南侧	约 10~ 25m	无	院内公共 区域、医 院用房	公众成员	约 10 人
33		诊室	西北侧	约 20~ 26m	无	医院用房	公众成员	约 5 人
34		支马路	西侧至东 北侧	约 0~ 50m	-9m~ +10m	支马路	公众成员	约 15 人
35		凤山街道城东村凉子 脚组居民楼及空坝	西北侧至 西南侧	约 14~ 50m	+10m~ +12m	院外建筑 物	公众成员	约 50 人

36	林地	西南侧至东南侧	约 6~50m	+12m~+50m	林地	公众成员	约 2 人
37	直线加速器机房	东北侧至东侧	约 0~15m	无	项目用房	公众成员	约 2 人
38	办公室	东北侧至东侧	约 15~22m	无	医院用房	公众成员	约 12 人
39	气象局办公楼	东北侧至东南侧	约 27~50m	+8m	院外建筑物	公众成员	约 160 人
40	气象局门卫亭	东北侧	约 32~35m	-2m	院外建筑物	公众成员	约 2 人
41	气象局露天停车坝及地下停车库	东北侧	约 32~50m	-7m~-2m	院外公共区域	公众成员	约 8 人
42	直线加速器楼 (2F~楼顶)	楼上 (正上方)	/	+4m~+11.2m	车库	公众成员	约 10 人

注：1. “-”表示低于直线加速器楼 1F 地面；2. “+”表示高于直线加速器楼 1F 地面。

(3) DSA 机房

本项目 DSA 机房拟位于医院红线范围内西北侧地块新建内科综合楼 10F 靠北侧中部，机房北侧外为临空（人员无法到达）；西侧紧邻为缓冲、OR02 手术室；南侧紧邻为缓冲、控制室、设备间；东侧紧邻为楼梯间；机房楼上紧邻为值班休闲、办公室、主任办、审方打印、过道、男更、女更；楼下为女更、女卫、男更、楼梯间。

机房周围 50m 范围内大部分区域为医院红线范围内，仅西北侧至东北侧部分区域为院外区域，具体包括医院红线范围内院内道路、医技楼、门急救综合大楼、停车楼及机房四周各房间；医院红线范围外建设东路、下穿马路、南城中央广场前广场。

DSA 机房周围 50m 评价范围内环境保护目标的名称、规模及其与本项目的方位和距离详见表 7-2。

表 7-2 DSA 机房周围环境保护目标情况一览表

编号	名称	方位	水平距离	高差	环境特征	人员类型	规模	影响因子
1	前厅	东北侧至西北侧	约 0~29m	-40.5m	院内公共区域	公众成员	约 60 人	电离辐射
2	院内道路	东北侧至西南侧	约 6~50m	约-40.5m~-36m	院内公共区域	公众成员	约 30 人	
3	建设东路、南城中央广场前广场等	东北侧至西北侧	约 26~50m	约-45m~-40.5m	院外公共区域	公众成员	约 160 人	

4	下穿马路	西北侧	约 34~50m	约-50~-40.5m	院内公共区域	公众成员	约 6 人
5	缓冲、OR02 手术室	西侧	约 0~10m	无	项目辅助用房、医院手术用房	公众成员	约 8 人
6	过道、合用前室、电梯间、楼梯间等	西侧	约 10~19m	无	手术室区域	公众成员	约 5 人
7	OR03 手术室、缓冲、洁具间、避难间、OR04 手术室、OR05 手术室等	西南侧	约 0~50m	无	医院手术用房	公众成员	约 40 人
8	控制室	南侧	约 0~4m	无	项目辅助用房	辐射工作人员	约 4 人
9	缓冲、设备间	南侧	约 0~4m	无	项目辅助用房	公众成员	约 6 人
10	洁净过道、戊类库房、谈话间、麻醉/复苏、医护通道、隔离前室、OR11 手术室等	南侧	约 0~45m	无	医院手术用房、项目辅助用房	公众成员	约 20 人
11	停车楼车库	南侧至东南侧	约 45~50m	无	院内公共区域	公众成员	约 8 人
12	缓冲、戊类库房、家属等候区、临时休息室、前室、楼梯间、电梯间、女卫生间、男卫生间等	东南侧	约 4~47m	无	医院手术用房、院内公共区域	公众成员	约 25 人
13	楼梯间、术间休息、卫生间、杂物间、电梯检修机房等	西侧	约 0~14m	无	院内公共区域	公众成员	约 12 人
14	医技楼、门急救综合大楼	西侧	约 10~50m	无	医院用房	公众成员	约 60 人
15	内科综合楼 (11F~楼顶)	楼上	/	+4.5m~+56.7m	医院用房	公众成员	约 180 人
16	内科综合楼 (-2F~9F)	楼下	/	-4.5m~-48.2m	医院用房	公众成员	约 120 人

注：1. “-”表示低于内科综合楼 10F DSA 机房地面；2. “+”表示高于内科综合楼 10F DSA 机房地面。

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

1) 放射工作人员

应对工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述控制值。

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），

20mSv 作为职业照射剂量限值。

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv。

2) 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

(2) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)

本标准规定了放射诊断的防护要求，包括 X 射线影像诊断和介入放射学用设备防护性能、机房防护设施、防护安全操作要求及其相关防护检测要求。本标准适用于 X 射线影像诊断和介入放射学。

第 6.1.5 条 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和迁建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2（即下表 7-2）的规定。

表 7-2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 ^d , m ²	机房内最小单边长度 ^e , m
单管头 X 射线机 ^b (含 C 形臂, 乳腺 CBCT)	20	3.5
CT 机 (不含头颅移动 CT)	30	4.5

^b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内；
^d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形面积；
^e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

注：1. 本项目 DSA 为单管头，按单管头 X 射线设备执行。

第 6.2.1 条 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3（本报告表 7-3）的要求。

表 7-3 不同类型射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 (mmPb)	非有用线束方向铅当量 (mmPb)
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房 (不含头颅移动 CT)、CT 模拟定位机房	2.5	

注：本项目 DSA 属于 C 形臂 X 射线设备，按其机房屏蔽防护铅当量厚度执行。

第 6.2.3 条 机房的门和窗关闭时应满足表 3（即表 7-3）的要求。

第 6.3.1 条 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；测量时，X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅

摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h。

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25 μ Sv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25 mSv；

第 6.4.3 条 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

第 6.5.1 条 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4（即下表 7-4）基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

表 7-4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅衣、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——
CT 体层扫描（隔室）	——	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——

注 1：“——”表示不要求。
注 2：各类个人防护用品和肤质防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。

第 6.5.3 条 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

第 6.5.4 条 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

第 6.5.5 条 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

附录 B

B.1 检测条件 X 射线设备机房防护检测条件和散射模体应按表 B.1 的要求。

表 B.1 中备注 1：介入放射学设备按透视条件进行检测。

B.2 关注点检测的位置要求。

B.2.1 距墙体、门、窗表面 30cm；顶板上方（楼上）距顶板地面 100cm，机房地

面下方（楼下）距楼下地面 170cm。

(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

- a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1 mSv/a。

6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平（ \dot{H}_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等：

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施：

a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源连锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流运输通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

f) 安全连锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何连锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行连锁恢复及功能测试。

8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4次/h ，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

(4) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

6 工作场所放射防护要求

6.2 空间、通风要求

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

(5) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）

4.8.3 治疗机房辐射屏蔽涉及诸多物理量：治疗装置有用束给予患者受治部位的剂量为吸收剂量(Gy)、治疗装置的泄漏辐射和可能产生的杂散中子及其散射辐射剂量为周围剂量当量或空气比释动能(Sv 或 Gy)、人员在治疗机房外的受照剂量为有效剂量(Sv)、在治疗机房外的辐射场和剂量仪表的测量值为周围剂量当量(Sv)。为了治疗机房屏蔽剂量估算和评价的方便及统一，在辐射屏蔽及其设计范畴内，不进行诸物理量与本标准中的周围剂量当量之间的转换系数修正。

(6)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可依照附录 A，由以下周剂量参考控制水平(\dot{H}_c)求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

2) 放射治疗机房外非控制区的人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

c) 由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率

参考控制水平 $\dot{H}c,max$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}c$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

附录 A.2.1 单一辐射

a) 有用线束

有用线束在关注点的周剂量参考控制水平为 Hc 时，该关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}c,d$ ($\mu\text{Sv/h}$) 见式 (A.2)：

$$\dot{H}c,d = Hc / (t \cdot U \cdot T) \quad (\text{A.2})$$

式中：

Hc -周参考剂量控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$)，见 4.2.1 的 a)；

t -治疗装置周治疗照射时间，h；

U -有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

T -人员在相应关注点驻留的居留因子。

b) 单一泄漏辐射

泄漏辐射在关注点的周剂量参考控制水平为 Hc 时，该关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}c,d$ ($\mu\text{Sv/h}$) 见式 (A.3)：

$$\dot{H}c,d = Hc / (N \cdot t \cdot T) \quad (\text{A.3})$$

式中：

Hc -周参考剂量控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$)，见 4.2.1 的 a)；

N -调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 $N=5$ 。

t -治疗装置周治疗照射时间，h；

T -人员在相应关注点驻留的居留因子。

A.2.2 复合辐射

与主屏蔽直接相连的次屏蔽区需要考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射：

a) 以 4.2.1b)、4.2.2a) 或 4.2.2b) 中的 $\dot{H}c,max$ 的一半，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，依 5.2.2 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度；

b) 将 A.2.1b) 的 (A.3) 式中的 Hc 以 $0.5Hc$ 代替，作为关注点的导出剂量率参考控制水平，依 5.2.1 估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度；

c) 取上述 a) 和 b) 中屏蔽厚度较厚者为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下，泄漏辐射和有用线束患者散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量率控制值。

(7) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)

二级标准：臭氧 1 小时平均限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.2\text{mg}/\text{m}^3$)；二氧化氮 1 小时平均限值为 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.2\text{mg}/\text{m}^3$)。

(8) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素(一)》(GBZ2.1-2019)

工作场所空气中化学因素的职业接触限值为：

臭氧最高容许浓度 (MAC) 接触限值： $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；

氮氧化物 (一氧化氮和二氧化氮) 的时间加权平均容许浓度 (PC-TWA) 接触限值： $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(9) 医疗废物

医疗废物属于危险废物，按国家危险废物名录分为医疗废物 HW01，主要包括感染性废物 (841-001-01)、损伤性废物 (841-002-01)，按《医疗废物管理条例》和《重庆市人民政府关于进一步加强医疗废物管理的通告》(渝府发〔2007〕71 号) 要求进行收集处置；其贮存按《医疗废物集中处置技术规范(试行)》(环发〔2003〕206 号)、《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023) 执行。

(10) 评价标准及相关参数值

①年剂量管理目标

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求，放射工作人员年有效剂量不超过 20mSv ，公众成员年有效剂量不超过 1mSv 。

根据建设单位提供的资料 (见支撑性材料：评价内容确认函，附件 1)，医院取 GB18871-2002 中工作放射人员年有效剂量限值的四分之一即 $5\text{mSv}/\text{a}$ 作为放射工作人员的年有效剂量管理目标值；公众年有效剂量限值取 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 作为公众成员的年有效剂量管理目标值，满足 GB18871-2002 要求。

②直线加速器机房屏蔽体外控制水平核算

《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 均对直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率参考控制水平有规定，本评价按照其相关要求保守计算直线加速器机房的屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算如下：

A、居留因子

根据 HJ1198-2021 附录 A，不同场所的居留因子选取如表 7-6 所示。

表 7-6 不同场所的居留因子

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围 ^a	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制区、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区域
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有行人车辆来往的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

备注：后文直线加速器等相应计算中的居留因子参照本表取值，后文不再提及。

B、直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算

放疗中心的直线加速器机房拟配置 10MV 的医用电子直线加速器，周治疗时间平均约 4h。本项目按照最不利情况考虑，使用因子 U 均取 1，强调因子 N 均取 5。

本项目直线加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率控制水平核算结果见表 7-7，复合辐射的导出剂量率为散射辐射与泄漏辐射之和，若剂量率核算结果大于 2.5 μ Sv/h，则保守取剂量率参考控制水平为 2.5 μ Sv/h。直线加速器机房的导出剂量率参考控制水平按照 GBZ/T201.2-2011 附录 A 的计算要求进行。

关注点剂量率控制水平计算公式见式 (A.2)、(A.3)。核算结果见表 7-7。

表 7-7 剂量率控制水平核算表 单位： μ Sv/h

机房	屏蔽体外关注点		H_c (μ Sv/周)	辐射类型		T	\dot{H}_c, m_a x	导出限值 \dot{H}_c, d		剂量率参考控制水平 H_c
	方位	紧邻环境情况		有用线束	复合辐射					
直线加速器机房	西	过道、CT模拟定位机房	5	有用线束	1/2	2.5	2.50	2.50	0.93	
				复合辐射				散射		0.68
								泄漏		0.25
	北	控制室设备间	100	泄漏辐射	1	2.5	5.00	2.50		
				泄漏辐射	1/20	10	100.00			
	东	办公室、风井	5	有用线束	1	2.5	2.50	1.25	0.45	
				复合辐射				散射		0.32
								泄漏		0.13
	南	基土层	5	泄漏辐射	/	10	/	2.50		
	顶棚	车库	5	有用线束	1/40	10	10	50.00	6.53	
复合辐射				散射				5.00		
				泄漏				1.53		
防护门	过道	5	复合辐射	1/8	10	10	5.00	5.50		
			泄漏				0.50			

③评价标准汇总

本评价根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准以及医院确定的个人剂量管理目标，确定本项目的评价标准见表 7-8 所示。

表 7-8 项目剂量限值及污染物排放指标表

年剂量限值要求			执行依据
分类	年剂量限值	年有效剂量管理目标值	GB18871-2002、 HJ1198-2021 及医院管理要求
放射工作人员	20mSv/a	5mSv/a	
公众成员	1mSv/a	0.1mSv/a	
剂量控制值			执行依据
直线加速器机房	详见表 7-7。		根据 GBZ/T201 HJ1198-2021 GBZ121-2020 核算后综合取值
CT 模拟定位机 机房	距离机房四周屏蔽体、门、窗外表面 30cm，机房顶板上方（楼上）距顶板地面 100cm 处的周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。		GBZ130-2020
DSA 机房	透视条件下距离机房四面墙体、门、窗外表面 30cm，顶板上方（楼上）距顶板地面 100cm，机房地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。		
机房面积及最小单边长要求			执行依据
设备名称	机房内最小有效使用面积	机房内最小单边长度	GBZ130-2020
CT 模拟 定位机	30m ²	4.5m	
DSA 装置	20m ²	3.5m	
通风要求			执行依据
直线加速器	换气次数应不小于 4 次/h。		GBZ121-2020 HJ1198-2021
CT 模拟定位机、 DSA	应设置动力通风装置，并保持良好的通风。		GBZ130-2020
医疗废物、医疗废水等			执行依据
废水	本项目各机房产生污水经内科综合楼-2F 规划埋地式污水处理站预处理达标后，依托医院总排放口排入市政污水管网，至武隆区污水处理厂处理达标后，最终外排乌江。		GB18466-2005
医疗废物	交由有相应资质的单位处置。		渝府发（2007）71 号

注：本项目 DSA 为单管头，按照单管头 X 射线设备（含 C 形臂，乳腺 CBCT）确定机房控制面积及单边长度。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

重庆市武隆区人民医院位于重庆市武隆区凤山街道建设东路3号，地理位置图见附图1。本项目拟分别位于医院红线范围内南侧地块新建直线加速器楼1F和西北侧地块新建内科综合楼10F。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

(1) 环境现状评价对象：拟建址及周边环境。

(2) 监测因子：环境 γ 辐射剂量率。

(3) 监测点位：本项目共设 9 个监测点位。本次监测对拟建直线加速器机房和 DSA 机房所在地块布点，并根据周围环境情况对周围环境及敏感目标进行布点，监测布点既考虑了可能受影响环境保护目标，布点设置整体合理。监测点位见图 8。



图8 本项目监测点位图

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

为掌握本项目拟建址所在地块及周边的辐射环境背景水平，重庆联尔医学研究院有限公司于 2025 年 3 月 26 日对本项目所在地块及周边的环境辐射剂量率进行了监测，监测报告编号为：渝联辐环检字[2025]0005 号。

- (1) 监测单位：重庆朕尔医学研究院有限公司
- (2) 监测日期：2025 年 3 月 26 日
- (3) 监测方式：现场监测
- (4) 监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）
- (5) 监测设备

表 8-1 监测设备参数表

仪器名称	便携式 X- γ 剂量率仪
仪器型号	BH3103B
生产厂家	中核（北京）核仪器厂
仪器编号	2016008
能量范围	25KeV~3MeV
量 程	1~10000 $\times 10^{-8}$ Gy/h
检定单位	中国计量科学研究院
检定证书	DLjl2024-10690
检定有效期至	2025 年 7 月 11 日
校准因子	1.02

8.3.2 质量保证措施

①本项目辐射环境监测单位为重庆朕尔医学研究院有限公司，具有重庆市市场监督管理局颁发的检验检测机构资质认定证书、质量管理体系认证及环境管理体系认证，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。

②采用国家有关部门颁布的监测标准方法，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

③监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。

④监测实行全过程的质量控制，严格按照重庆朕尔医学研究院有限公司《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经培训、考核合格后上岗。

⑤监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人审定。

8.3.3 监测结果

本项目辐射环境现状各监测点位的监测结果见表 8-2。

表 8-2 拟建场所及周围 X- γ 辐射剂量率监测结果

监测点位编号	监测点位描述	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)
△1	拟建 DSA 工作场所所在地块 (场地平整及基础施工中)	82
△2	拟建 DSA 工作场所所在地块 (场地平整及基础施工中)	82
△3	拟建 DSA 工作场所所在地块东南侧位置 (现有门急救综合大楼前)	83
△4	拟建直线加速器工作场所所在地块 (场地平整及挡墙施工)	82
△5	拟建直线加速器工作场所所在地块 (场地平整及挡墙施工)	80
△6	拟建直线加速器工作场所所在地块北侧位置 (现有传染楼前)	80
△7	拟建直线加速器工作场所所在地块西侧位置 (院外自建居民楼前)	81
△8	拟建直线加速器工作场所所在地块南侧位置 (院外自建居民楼前)	79
△9	拟建直线加速器工作场所所在地块东侧位置 (院外支马路)	81

注：监测结果未扣除宇宙射线响应值。

8.4 环境现状调查结果的评价

根据监测统计结果可知，本项目拟建址所在地块及周边环境 γ 辐射剂量率的监测值在 79nGy/h~83nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值），根据《2023 年重庆市辐射环境质量报告书》中辐射环境质量状况数据，重庆市累积剂量法测得的 γ 空气吸收剂量率全市点位年均值范围为 76.8nGy/h~93.3nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），全市点位年均值为 87nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），因此本项目拟建址所在地块及周边环境的辐射水平在重庆市天然辐射本底水平正常涨落范围内，未见辐射异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 建设阶段工艺流程及产污环节

本项目各放射诊疗及其配套辅助用房为医院新建内科综合楼和直线加速器楼主体工程的一部分，与其主体工程同时设计和施工，内科综合楼在《重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目环境影响报告表》中对施工期环境影响进行了详细评价；直线加速器楼在《建设项目环境影响登记表》对施工期环境影响进行了描述，并提出了相应环保措施。

本项目各功能用房施工期包括防护设施安装和装修装饰，施工范围小，且主要为室内装饰、设备院内运输及组装。装修、设备安装期间产生噪声较小，设备的安装、调试由设备厂家专业人员负责，设备包装物可交物资部门回收。

9.2 运行阶段工艺流程及产污环节

9.2.1 医用电子直线加速器

(1) 设备组成及工作方式

本项目拟配置 1 台 X 射线最大能量为 10MV 的医用电子直线加速器，医用电子直线加速器由主机系统、控制系统、治疗床、恒温水系统构成。另外加速器集成 1 个 CBCT（锥形束 CT）进行定位验证。

用于放射治疗的 X 射线是从直线加速器治疗头产生的，治疗头是加速器最终用于治疗的射束的形成部位。治疗头提供射束修整、定位、屏蔽、监测等功能，其基本结构包括偏转系统、X 线靶、均整器、电子散射箔和准直器。散射箔常安装在均整器旋转托盘上，还有光野灯、源皮距标尺灯、电离室和联锁装置等。

加速器设备外观见图 9-1，外部结构示意图见图 9-2。



图9-1 医用电子加速器（典型示例照片）

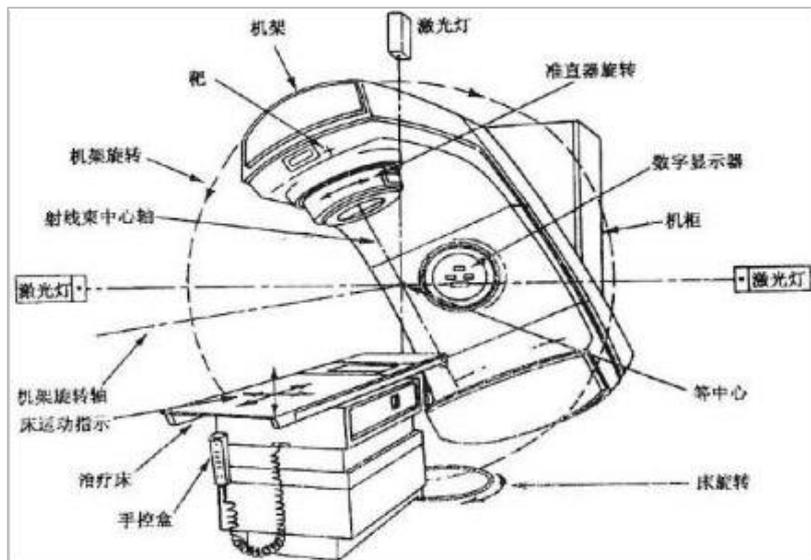


图 9-2 典型医用直线加速器机外部结构示意图

(2) 设备参数

根据医院提供资料，项目医用直线加速器的主要技术指标见表 9-1。

表 9-1 医用直线加速器的主要技术指标

项目	指标
射线类型	X 射线、电子线
最大能量	X 射线：10MV；电子线：20MeV
SAD	100cm
等中心点距离地面高度	124cm
射线束最大张角（散射角）	28°
照射方式	具有等中心旋转系统之固定束治疗和移动束治疗的间歇加载连续运行式

最大照射野		40cm×40cm
等中心处最大剂量率		X 射线、电子线均为 2400cGy/min
机架旋转		-180°~180°
泄漏辐射率		千分之一
靶材料		钨合金
集成 CBCT	最大管电压	150kV
	最大管电流	1000mA

(3) 直线加速器及 CBCT 工作原理

医用电子直线加速器用于放射治疗的 X 线和电子束是从加速器治疗头产生的，治疗头是加速器最终用于治疗的射束的形成部位。治疗头提供射束修整、定位、屏蔽、监测等功能，其基本结构包括偏转系统、X 线靶、均整器、电子散射箔和初级准直器，散射器常安装在均整器旋转托盘上，还有照野灯、源皮距标尺灯、电离室和联锁装置等，见图 9-3 所示。

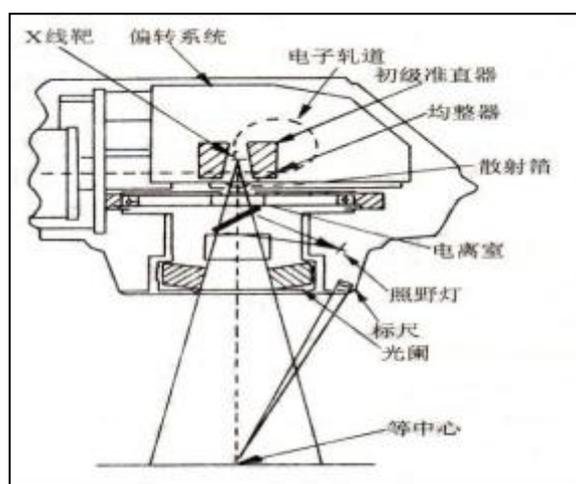


图 9-3 加速器治疗头的结构图

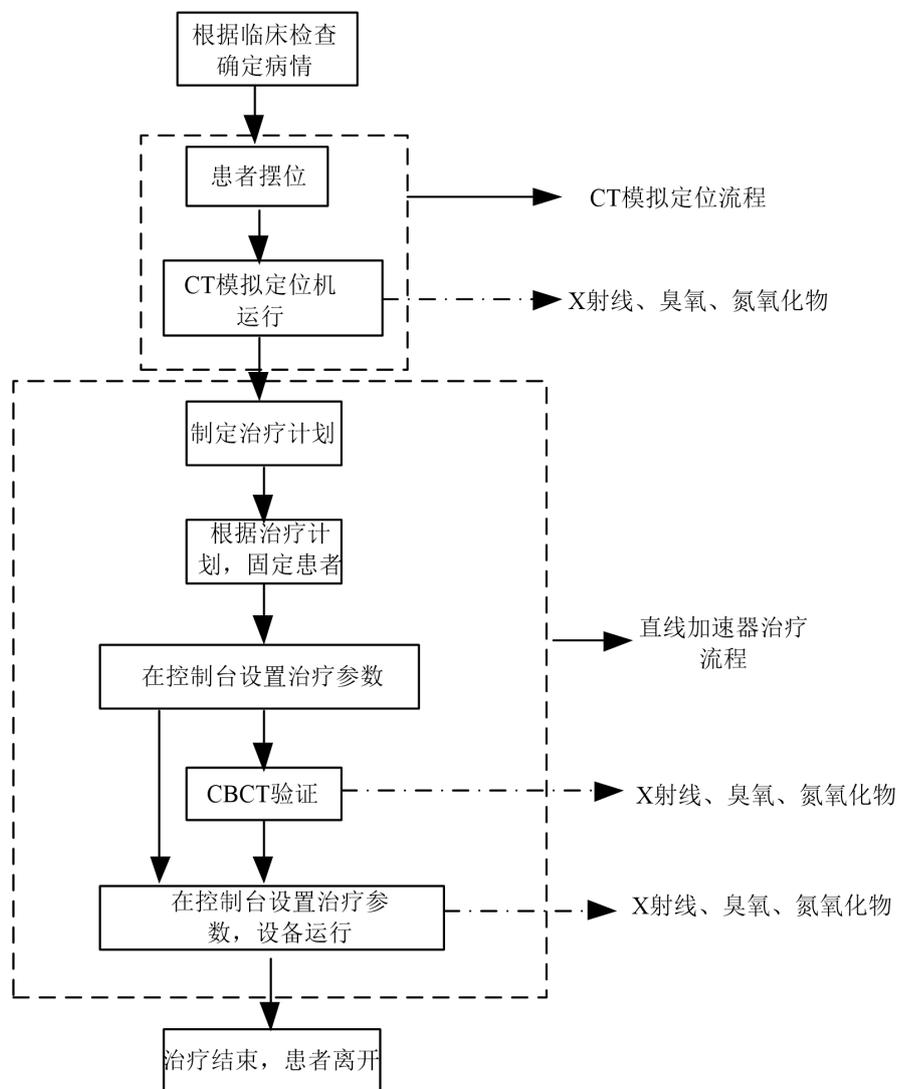
三相电压经升压、整流和滤波成 11kV 的直流高压，对调制器中的脉冲形成网络（PFN）充电，经氢闸流管后输入到脉冲变压器；同时另一高压通过直流变压器产生直流高压，供给电子枪发射电子，电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属靶，产生大量高能 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后达到患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器既可以利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀死肿瘤细胞。

CBCT 即为锥形束投照计算机重组断层影像设备，其原理是 X 射线发生器以较低的射线量围绕投照体做环形数字式投照，然后将围绕投照体多次数字投照后“交集”中所

获得的数据在计算机中重组后获得三维图像。

(4) 操作流程及产污环节

本项目直线加速器治疗主要工作流程见图 9-4 所示。



注：首次治疗需要 CT 模拟定位，后续治疗不需要。

图 9-4 医用电子直线加速器治疗流程示意图

主要操作流程为：

①接诊：当患者通过影像学检查患有占位性病变，并经过病理诊断后，医生根据患者的具体情况确定是否适用放射治疗，如果符合放疗适应症（告知病人及家属辐射危害），即可准备进入放疗流程。

②模拟定位：首次治疗时，使用放疗中心 CT 模拟定位机进行扫描，确定肿瘤的位置和范围。

③制定放疗计划：将模拟定位影像图像导入计算机治疗计划系统（TPS）后进行治

疗计划设计，临床医生根据模拟定位检查图像勾画靶区，确定需要照射的范围和剂量。由放疗物理师和临床医生一起，根据病情确定照射范围和剂量，计划完成后经科室集体讨论后确认。方案确定后以跟治疗时同等的摆位条件（如垫肩、加固定器等）放到模拟定位设备上进行检查。经证实为可行后，在病人体表上作出相应的照射野标记，填写治疗单，做好治疗固定器等，确定最后的治疗计划，以保证放射位置的精确性和放射剂量的精确性。

④实施放射治疗：

A、工作人员在直线加速器控制室接通电源，启动控制系统，在控制台上设置治疗参数；

B、医护人员将患者送入治疗室，技术人员进行摆位；固定治疗体位，肿瘤中心位于等中心点；

C、除了患者，其余人员撤出治疗室，关闭防护门，通过监控系统观察机房内情况，检查连锁系统；

D、CBCT 验证，具体流程为：治疗前采集数字影像数据，然后与定位影像数据进行在线配准。如果得到的比对结果在容许误差范围内，则治疗可以进行；如果比对结果超出误差容许范围，调整患者位置后使之在容许误差范围内，再行治疗，实现患者定位与治疗的精确重合。

E、在控制室控制台确认治疗参数，插入专用控制钥匙，加速器出束治疗；

F、治疗完毕，加速器停止出束，打开迷道防护门，医护人员进入治疗室解除体位固定器，将病人送出治疗室。

特别说明：患者治疗一般一个疗程进行一次模拟定位和一次 CBCT 验证。

(5) 工作负荷

根据医院提供资料，直线加速器每天最多治疗数量为 48 人次（进入机房治疗 1 次为 1 人次），每周工作 5d，年工作 50 周，年治疗 12000 人次。直线加速器常规治疗为 6Gy/min，每人次患者治疗照射时间约为 1.0min（不含摆位和 CBCT 验证时间），则设备有效出束时间为 4h/周，200h/a。直线加速器的治疗以 X 射线为主，电子线较少，本次核算全部以 X 射线进行计算。此外，考虑到直线加速器的调强治疗，保守考虑调强因子取 $N=5$ ，则设备泄漏辐射时间约为 20h/周，1000h/a。

在病人首次治疗时需要进行 CBCT 定位验证，在病人后续治疗一般一周使用一次。

单次验证扫描一圈，即 1min。按照加速器使用情况，预计直线加速器 CBCT 年使用不超过 2400 次/年，即 40h/a。

9.2.2CT 模拟定机

(1) X 射线产生及成像原理

X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。X 射线管结构见图 9-5，X 射线管的阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶体所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线有两种类型，一种是高速电子在靶原子核附近经过时，受靶核的强库仑场作用而损失其部分或全部动能，转变为具有连续能谱的韧致辐射；另一种是高速电子轰击靶物质时，靶原子的内层电子被电离而离开原子，位能较高的相邻外层电子进入内层轨道填补空位，多余的能量以辐射形式释放，因为靶原子各壳层之间的能级差是一定的，所以这种辐射光子具有确定的能量，称为特征 X 射线；本项目所用 X 射线是将特征 X 射线屏蔽后的结果。

成像装置是用来采集透过人体的 X 射线信号的，由于人体各部组织、器官密度不同，对 X 射线的衰减程度各不一样，成像装置根据接收到的不同信号，通过荧光屏或平板探测器、计算机、摄像机（对影像增器的图像进行一系列扫描，再经过模/数-数/模转换）等方式进行成像。

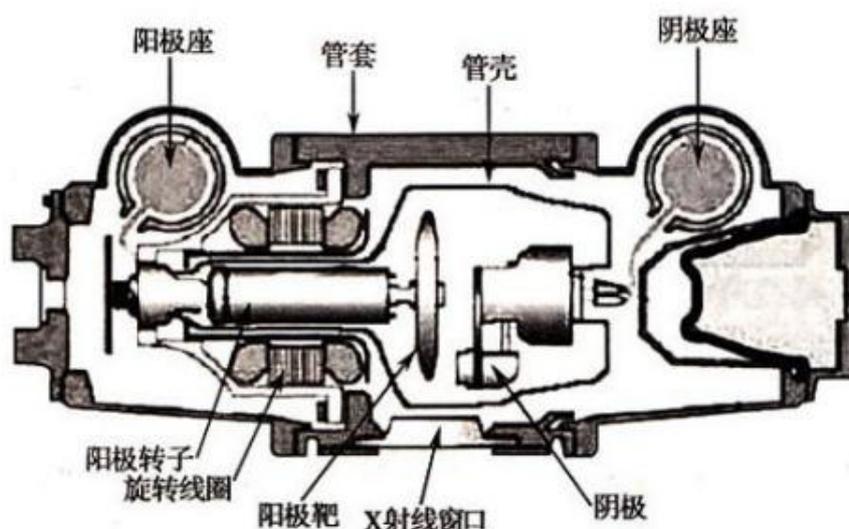


图 9-5 典型 X 射线管结构图

(2) 设备组成及工作方式

放疗中心拟配备 1 台 CT 模拟定位机。

拟配置的 CT 模拟定位机为大孔径 CT，主要由扫描床、扫描架、高压发生器、控制台、计算机系统和激光定位系统等组成。典型 CT 模拟定位机见图 9-6，其主要结构见图 9-7。



图 9-6 CT 模拟定位机（示例图）

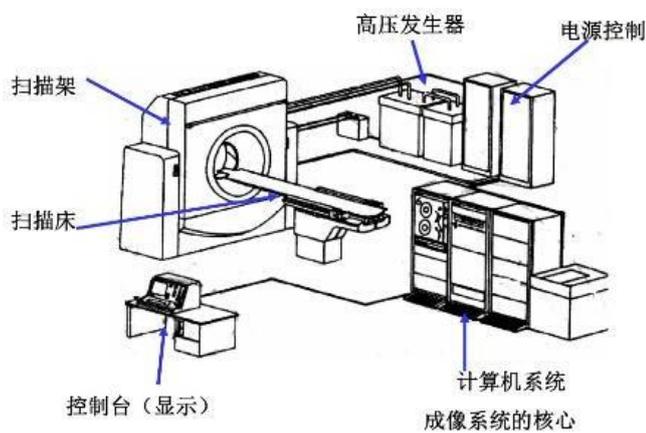


图 9-7 CT 模拟定位机主要组成结构示意图

CT 模拟定位机工作方式为：CT 模拟系统将靶区定位、治疗计划以及模拟实施三个步骤结合在同一系统上，并且通过多层（30~60 层）扫描图像建立靶组织与关键器官的立体关系，经过 CT 值与组织密度转换进行组织非均匀性校正的剂量计算，获得三维立体治疗计划，再将治疗照射野定位在病人体表，减小了摆位及各步骤执行误差，保证了治疗准确进行。

（2）工作原理

CT 模拟定位机可以看作是诊断性 CT 机与传统模拟定位机的有机结合。CT 模拟定位机不仅可以像诊断性 CT 机一样为治疗计划系统提供高质量的横断面 CT 影像资料，帮助临床医生精确勾画出肿瘤靶区及危险器官的轮廓，进而帮助计算机计划系统进行组织不均匀性校正，提高剂量计算的准确性。还能够借助复杂的计算机软件，将计划设计的照射野三维空间分布结果重叠在 CT 重建的病人解剖资料之上，在相应的激光定位系

统的辅助下，实现对治疗条件的虚拟模拟。

成像装置是用来采集透过人体的 X 射线信号的，由于人体各部组织、器官密度不同，对 X 射线的衰减程度各不一样，成像装置根据接收到的不同信号，通过荧光屏或平板探测器、计算机、摄像机（对影像增器的图像进行一系列扫描，再经过模/数-数/模转换）等方式进行成像。

（3）设备参数

拟配置的 CT 模拟定位机主要性能指标见表 9-2。

表 9-2 CT 模拟定位机设备参数

设备名称	CT 模拟定位机
射线装置类别	III类射线装置
设备型号	待定
主要技术参数	额定管电压：140kV 额定管电流：1000mA

（4）工艺流程及产污环节

模拟定位机工作流程如下：

- ①患者在候诊区等候，做相应准备工作，等待工作人员叫号。
- ②工作人员通知患者进入机房，为患者摆位、固定并标记患者。
- ③工作人员退出机房回到控制室设置参数并曝光，图像传至物理师办公室，确定初始坐标系统，确定靶区及等中心。工作人员根据等中心坐标标记患者及固定装置，勾选出关键器官与靶区，设计照射野。
- ④将患者材料数据传至 TPS 进行剂量计算。工作人员对 TPS 计划进行评估优化，实施计划验证（检查体位和射野设置、设备几何参数和靶区）。
- ⑤定位结束，工作人员引导患者退出机房。

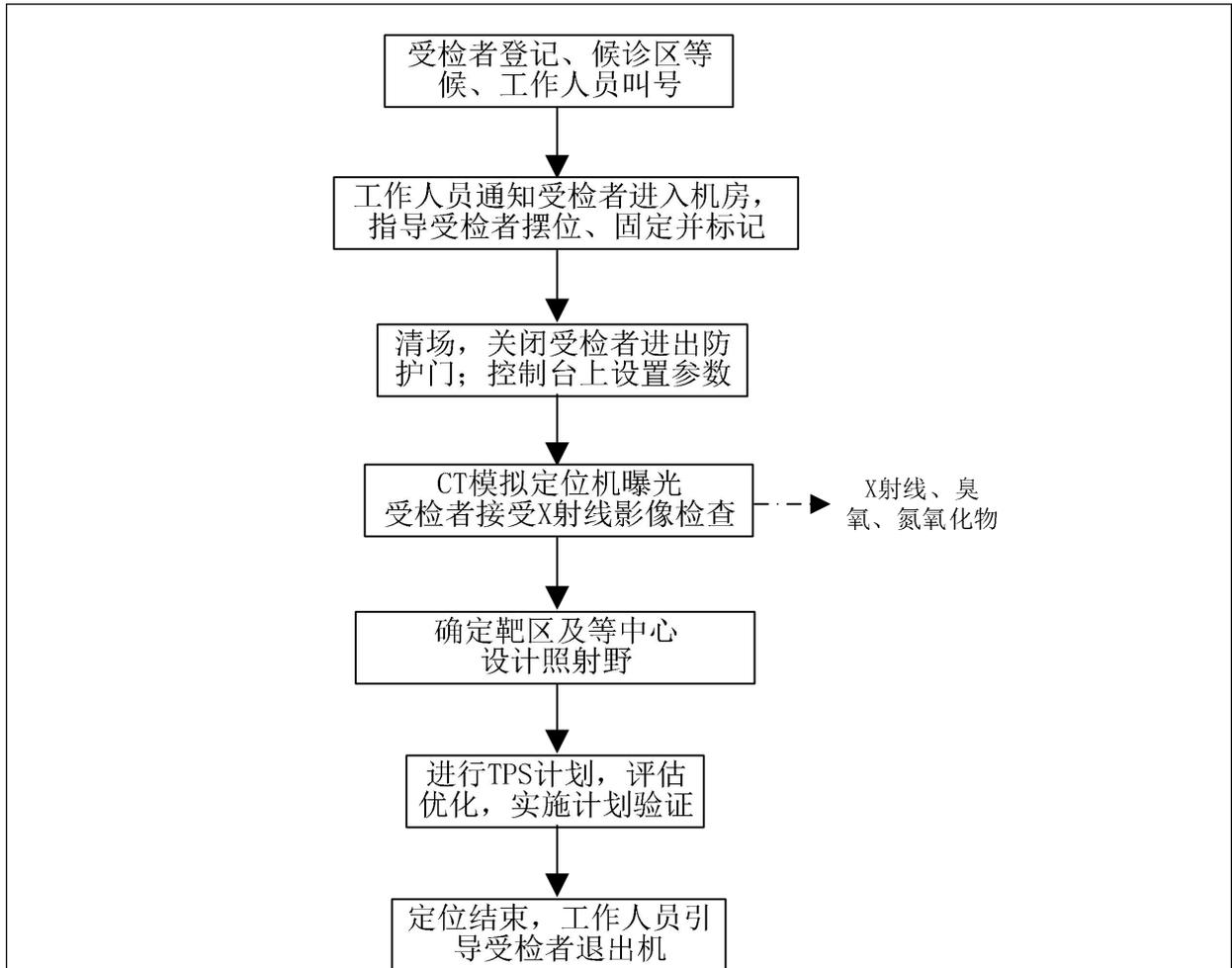


图 9-8 CT 模拟定位机工作流程及产污环节示意图

(5) 工作负荷

根据医院提供的资料，加速器治疗患者每个治疗疗程开始前均需进行 CT 模拟定位，则 CT 模拟定位机年最多接待 1200 人次，单个患者 CT 模拟定位扫描时间不超过 2min，则全年有效开机时间不超过 40h。本项目 CT 模拟定位机工作负荷情况见表 9-3。

表 9-3 CT 模拟定位机工作负荷

工作场所	工作内容	管电压	管电流	年诊断次数	每人所需时间	年有效开机时间
CT 模拟定位机房	肿瘤定位	140kV	1000mA	1200	≤2min	40h

9.2.1.1 放疗中心路径规划

(1) 医护路径

医护人员从直线加速器楼室外空坝经室内过道分别进入直线加速器机房和 CT 模拟定位机房控制室，根据工作内容再分别从直线加速器机房防护门或 CT 模拟定位机控制室防护门进入机房，工作完成原路返回。

(2) 患者路径

模拟定位就诊病人从 CT 模拟定位机房北侧患者防护门进入机房内，完成定位后原路返回；直线加速器治疗病人从直线加速器机房防护门进入机房内，完成治疗后原路返回。

医护路径和患者路径示意图见图 9-9。

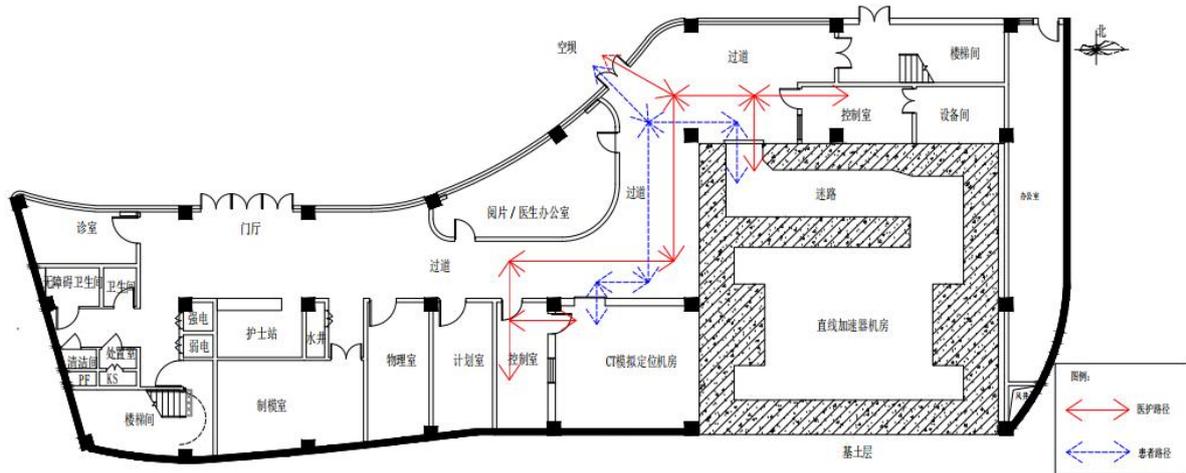


图 9-9 放疗中心医护路径和患者路径示意图

9.2.1.2 污染源项描述及产排污分析

1. 直线加速器电离辐射

(1) 放射治疗系统

① X 射线

本项目加速器加速粒子为电子，当电子束经高能加速后与靶物质相互作用时产生韧致辐射（即 X 射线），加速器最大 X 射线能量为 10MV，其贯穿能力极强。X 射线是随机器的开关而产生和消失的。

X 射线通过主射线、散射线、漏射线几种方式对外环境产生辐射影响。

主射线辐射：当放射治疗系统中光阑完全打开时，从辐射头靶射出的 X 射线为一个半角为 $(28/2)^\circ$ 的锥形线束，其标称能量为 10MV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 24Gy/min。主射线是唯一用于治疗目的的射线，又称有用线束。

泄漏辐射：加速器在 X 射线模式下，穿过机头屏蔽壳体发射出的一种无用的 X 射线，具有较强的穿透能力。本项目加速器 X 射线泄漏辐射因子不大于 0.1%。

散射辐射：是加速器发射的有用射线束照射到物体和患者上产生的次级辐射，散射辐射可分为一次、二次和多次散射辐射。散射 X 射线的能量比有用 X 射线和泄漏 X 射

线能量低，穿透能力相对较弱。

②电子线和电子线所产生的轫致辐射

电子线是加速器在电子线模式下运行时，加速的电子直接引出真空室照射患者的病灶部位而应用的一种射线。电子线穿透能力较弱，只要用大于它穿透深度的材料，就可完全屏蔽它。当工作在电子线模式时，电子束被高 Z 物质（如限束器）阻滞，在各个方向上产生轫致辐射光子。本项目拟引入的加速器设备的电子线最大能量为 20MeV，在等中心处电子线最大输出剂量率均为：2400cGy/min。

③中子、中子俘获 γ 射线和感生放射性

当加速器的产生的 X 射线在达到一定能量阈值后，由于 (γ, n) 反应生成“杂散”中子，同时产生中子俘获 γ 射线和感生放射性，但一般需要 X 射线能量大于 10MV 时该反应才较为明显。本项目加速器的 X 射线能量不超过 10MV，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZT201.1-2007）4.7 等，本项目电离辐射防护不需考虑中子、中子俘获 γ 射线防护和感生放射性影响。

（2）CBCT 验证系统

加速器集成的 CBCT 运行时将产生 X 射线，在开机不曝光或不开机状态下均不产生 X 射线。X 射线能量在零和曝光管电压（最大为 150kV）之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线，因有用线束有 CT 探测器阻挡，直线加速器治疗室内以散、漏射线为主。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》，不同过滤条件下离靶 1 米处的 X 射线发射率如下图 9-10 所示。CBCT 过滤板为 3mmAl，距离靶 1 米处的发射率约为 $13.4\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$ 。该能量和剂量率相对 10MV 直线加速器来说非常微小，能屏蔽放射治疗系统的辐射影响，就能屏蔽 CBCT 的影响，因此，本报告后文的机房屏蔽效能核算及控制室操作人员的年剂量估算不再考虑该部分影响。

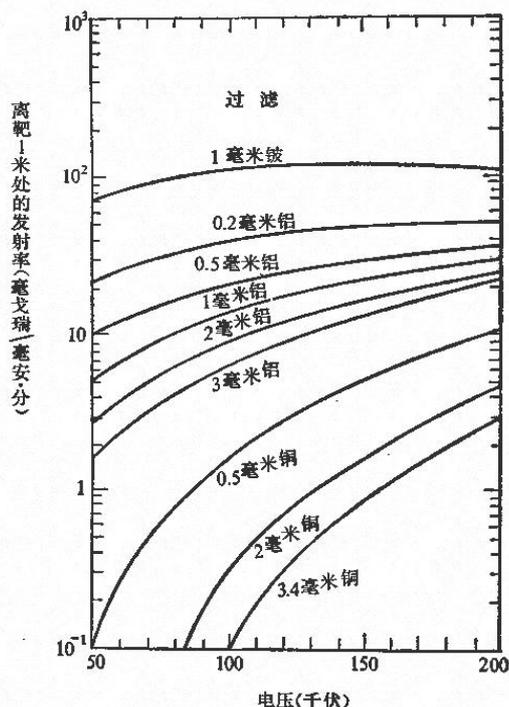


图 9-10 不同过滤材质在恒电位 X 射线发生器在离靶 1 米处的发射率

2. CT 模拟定位机电离辐射

拟配置的 CT 模拟定位机产生 X 射线，在开机不曝光或不开机状态下均不产生 X 射线。X 射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线，因有用线束遭 CT 探测器阻挡，机房内以散射线为主。

有用线束：X 射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数，加在 X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。由于 CT 模拟定位机的 X 射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。根据射线衰减原理和《辐射防护导论》，不同过滤条件下离靶 1 米处的 X 射线发射率见图 9-11 所示。

有用线束：CT 模拟定位机额定电压为 140kV，过滤板为 3mmAl，根据射线衰减原理和《辐射防护导论》，离靶 1 米处的发射率约为 $11.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。

漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。

散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离等有关。

3. 非放射性“三废”

项目运行过程不产生放射性废水、废气和放射性固体废物，仅产生少量非放射性的

“三废”。

(1) 废气

①直线加速器

直线加速器运行产生的 X 射线能使周围物质电离、激发，与空气作用产生臭氧和氮氧化合物。直线加速器放射治疗模式下产生的 X 射线有很强的穿透力，本评价主要考虑该模式下产生的废气。

根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期）中给出的扩展射线束所致 O₃ 产额的公式进行估算，其计算公式如下：

$$P = 2.43 \times D_o(1 - \cos \theta)RG \quad (9-1)$$

式中：P：扩展射线束单位时间内产生的 O₃ 的总质量，mg/h；

D_o：距射线束源点 1m 处的空气比释动能率，Gy·m²/min；

R：射线束中心轴上源点至机房墙壁的距离，m；

G：空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数，取值为 10；

θ：射线束的半张角，取值为 14°。

加速器屏蔽体外部非有用线束区域的漏射线所致臭氧产额为有用线束的 10%，因此本项目臭氧的实际产额按照上述公式计算值的 1.1 倍取值。各参数的取值和计算结果见表 9-4。

表 9-4 医用电子直线加速器的 O₃ 产额的计算参数和计算结果

机房	D _o (Gy·m ² /min)	R (m)	G	θ (°)	P (mg/h)
直线加速器机房	24	5.1	10	14	97.2

根据《三种电子加速器产生的臭氧危害分析》（中国辐射卫生 2020 年 6 月第 29 卷第 3 期），氮氧化物（主要为二氧化氮）产额考虑为 O₃ 产额的一半，则医用电子直线加速器运行时，直线加速器机房氮氧化物产额为 48.6mg/h。

②CT 模拟定位机及 CBCT

CT 模拟定位机及 CBCT 运行时产生的 X 射线与空气作用，产生少量的臭氧和氮氧化物等废气，依托排风管道引至室外排放。

(2) 废水

主要为工作人员、患者和家属产生的生活污水，产生量小，依托医院总排放口排入市政污水管网，至武隆区污水处理厂处理达标后，最终外排乌江。

(3) 固废

主要为诊疗过程中产生的非放射性医疗废物、工作人员和患者等产生的一般生活垃圾。本项目配置的铅橡胶衣、帽子等含铅防护用品，在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后由医院收集妥善保存。直线加速器更换下来的机头结构组件等由厂家进行更换并回收。射线装置报废后按照相关要求对 X 射线管去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好相关记录存档。

9.2.3 DSA 介入手术污染工序及污染物产生情况

9.2.3.1 工作原理及工作方式

(1) X 射线产生及成像原理

DSA 属于 X 射线装置，其 X 射线产生及成像原理与 CT 模拟定机相同。

(2) DSA 工作原理

数字减影血管造影技术（Digital Subtraction Angiography，简称“DSA”）是血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA 成像的基本原理是将受检部位注入造影剂（造影剂不含有放射性）之前和注入造影剂后的血管造影 X 射线荧光图像，分别经平板探测器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别储存起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换为普通的模拟信号，获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

(3) 设备组成及工作方式

血管造影机系统组成：Gantry，俗称“机架”或“C 形臂”，由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成，同时还包括了数字平板探测器、球管、束光器等部件；专业手术床；Atlas 机柜，该机柜由 DL、RTAC、JEDI 构成；球管和数字平板探测器分别通过各自的水冷机控制温度；图像处理系统。该项目设备采用平板探测器（FD）技术成像：FD 技术可以即时采集到患者图像，对图像进行后期处理，轻松保存和传送图像。DSA 装置典型实物照片见图 9-11。

介入手术工作方式为在医学影像设备引导下，采取透视和采集两种方式进行一系列

的介入检查与诊疗手术。介入手术过程中，介入手术医生须在手术床旁并在 X 射线导视下进行操作。DSA 装置工作示意图见图 9-12。

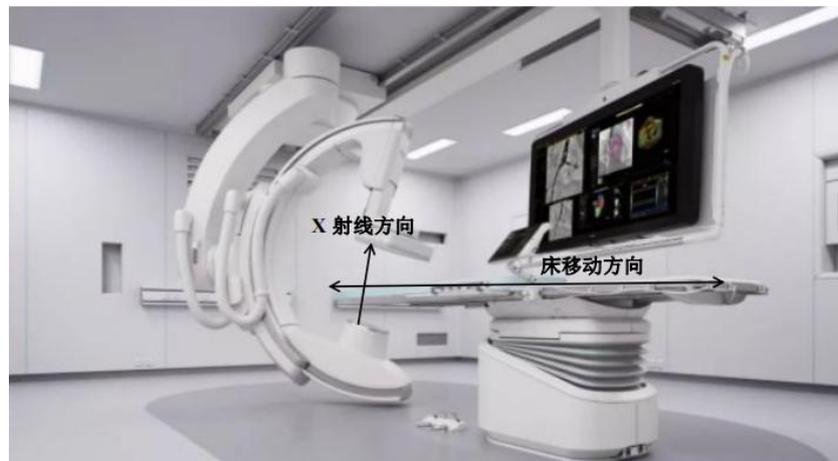


图9-11 DSA装置典型实物照片（示例）

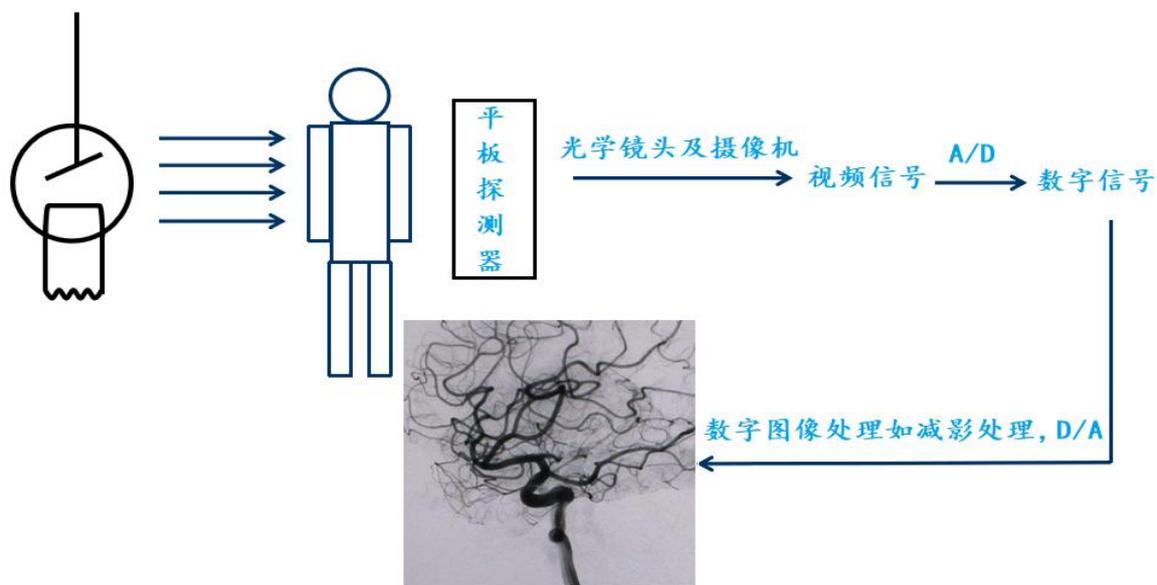


图9-12 DSA装置工作示意图

(4) 操作流程

DSA 主要操作流程为：在 DSA 装置引导下进行一系列的介入检查与诊疗手术。在手术过程中，介入手术医生在床旁并在 X 射线导视下进行操作。

DSA 装置在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，采集。采集包括电影和减影两种模式，根据手术方案，采集次数不同。一般情况下，电影模式下是医生在 DSA 机房内由手术医生直接采集。在减影模式下则采取隔室操作的方式（即放射技师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗了解机房内病人情况。实际操作过程中，根据手术情况，减影模式下手术医生也可能在 DSA 机房内，但在铅屏风后。无论哪种工作模式，医生在 DSA 机房内身着铅衣、铅

橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护用品。

第二种情况，透视。病人需进行介入手术治疗时，为更清楚地了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时介入手术医生位于铅悬挂防护屏(或铅防护吊帘)、床侧防护帘(或床侧防护屏)等辅助防护设施后，并身着铅衣、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护用品在 DSA 机房内对病人进行直接的介入手术操作。

DSA 操作流程及产污环节示意图见图 9-13 所示。

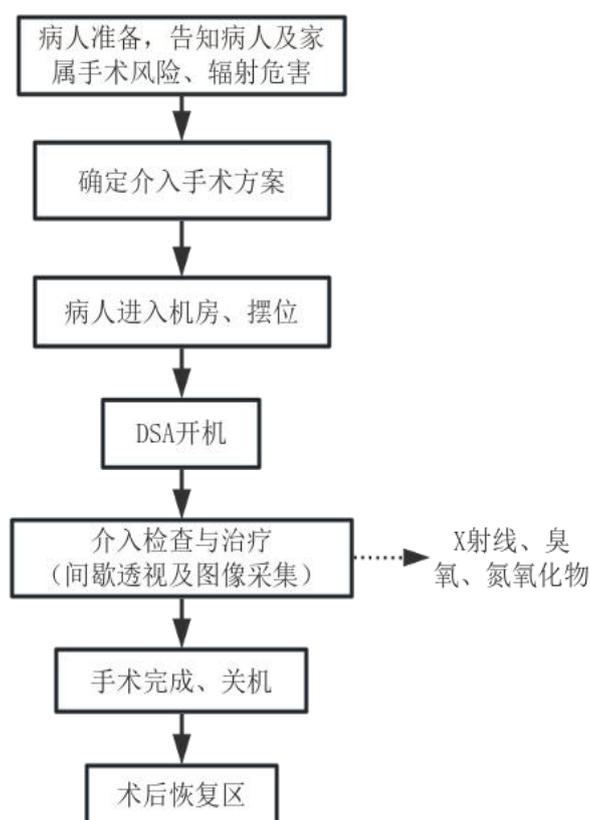


图9-13 DSA操作流程及产污环节示意图

(5) 工作负荷

根据医院提供的资料，DSA 以心脏介入、神经介入、综合介入为主。本项目 DSA 预计工作负荷见表 9-5。

表9-5 本项目DSA介入手术有效开机时间表

透视			
手术类别	年开展工作量	每台手术透视曝光时间	年透视曝光时间
心脏介入	500台	约20min	约166.67h
神经介入	100台	约21min	约35.00h
综合介入	400台	约21min	约140.00h
小计	/	/	约341.67h

采集					
手术类别	年开展工作量	单次采集时间	单台手术采集次数	单台手术最大采集时间	年采集时间
心脏介入	500台	3~4s	6~10次	约0.67min	约5.58h
神经介入	100台	6~10s	4~10次	约1.67min	约2.78h
综合介入	400台	3~8s	7~15次	约2.00min	约13.33h
小计	/	/	/	/	约21.69h
总计	/	/	/	/	约21.69h

根据介入手术年工作负荷可知，本项目DSA年透视时间共约341.67h，采集时间约21.69h，总年有效开机时间约363.36h。

(6) 污染因子

①X射线

DSA运行过程中污染物主要为X射线，X射线随机器的开、关而产生和消失，即仅在DSA开机并处于出束状态时才会发出X射线。根据X射线装置的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时将产生轫致辐射，即X射线，其最大能量为电子束的最大能量。

②其他

DSA运行过程不产生放射性废水、废气和放射性固体废物。

DSA运行时，空气在X射线的作用下电离产生少量的氮氧化物(NO_x)和臭氧(O₃)。

由上述分析可知，DSA在运行过程中污染因子主要为X射线，以及少量的氮氧化物和臭氧，其中以X射线为评价重点。

(7) 路径规划

①医护人员通道：医护人员在内科综合楼9F换鞋间换鞋和更衣室内更换衣物并消毒，经专用楼梯间至10F缓冲，再通过洁净通道进入控制室，穿戴好个人防护用品后经控制室防护门进入DSA机房；手术完成后，医护人员原路返回。

②病人通道：病人经内科综合楼10F电梯厅进入缓冲缓冲，再通过洁净通道至DSA机房南侧缓冲防护门进入机房内接受手术，手术完成后原路返回。

③污物通道：手术期间产生医疗废物，在手术结束后，从DSA机房西侧的污物防护门运出，通过缓冲和污物通道运至同层南侧污物暂存间暂存，当天运至停车楼-1F规划医疗废物贮存点。

本项目工作区域相对独立，与其他场所不交叉，人流物流路径相对独立。本项目人流物流规划示意图见图9-14所示。

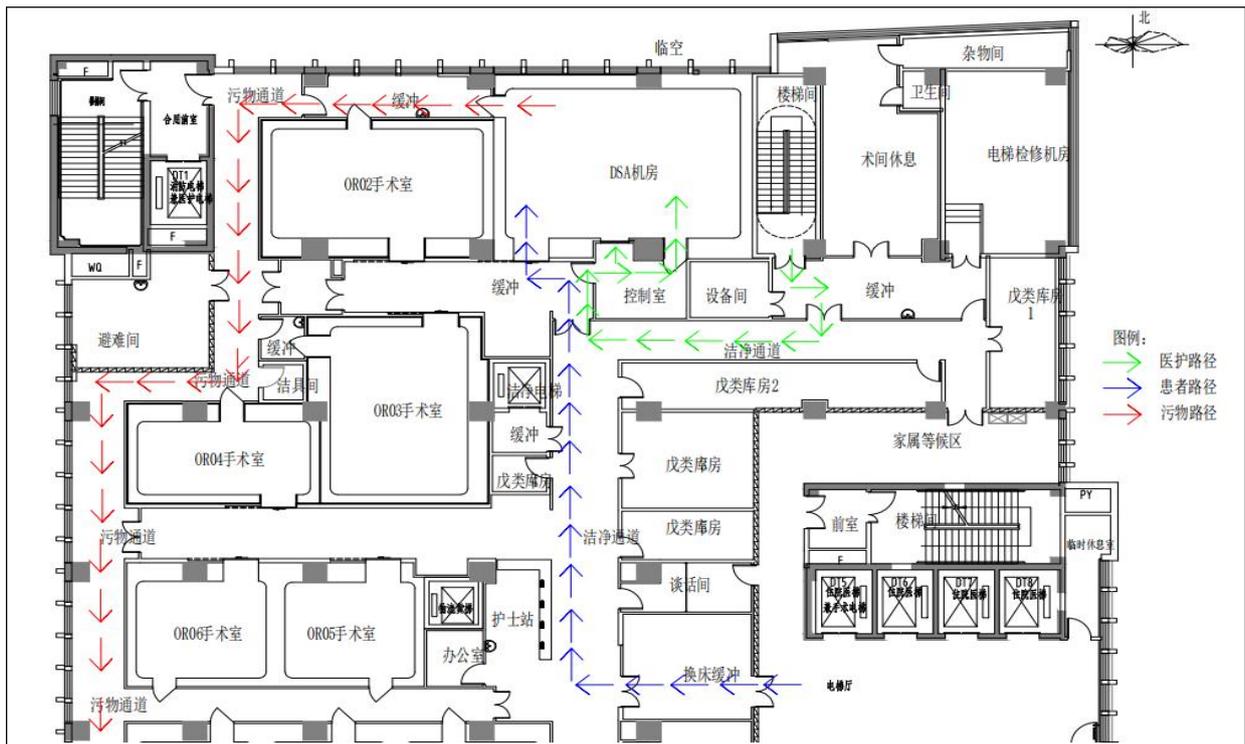


图9-14 本项目人流物流规划示意图

9.2.3.2 污染源项描述

(1) 电离辐射

DSA装置与电离辐射危害有关的辐射安全环节主要为X射线球管出束照射患者期间，它产生的X射线能量在零和曝光电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与X射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的X射线包括有用线束、漏射线和散射线。

①有用线束：直接由X射线球管产生的电子通过打靶获得X射线并通过辐射窗口用来照射人体，形成诊断影像的射线。其射线能量、强度与X射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数越大，加在X射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。由于本项目X射线能量较低，不必考虑感生放射性问题。

DSA装置具有自动照射量控制调节功能（AEC），采集时，如果受检者体型偏瘦，功率自动降低，照射量减小；如果受检者体型较胖，功率自动增强，照射量增大。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有约30%的裕量。根据医院提供资料并调查了重庆市多家医院DSA装置工作条件，从中发现：①在极端情况下，本项目DSA装置透视工况运行管电压为最大管电压，即125kV，电流自动跟随电压，电流不大于110mA；在极端情况下，本项目DSA装置采集工况运行管电压也为最大管电压，即125kV，电流自动跟随电压，电流不大于500mA。②常用透视工况为60~

90kV/5~20mA，采集工况为60~90kV/300~500mA。

根据射线衰减原理和《辐射防护导论》，不同过滤条件下离靶1米处的X射线发射率如图9-10所示；本项目DSA装置过滤板为3mmAl，最大管电压和常用最大电压距靶1m处有用线束的发射率见表9-6。

表9-6 最大电压和常用最大电压距靶1m处有用线束的发射率

序号	电压	距靶1m处有用线束的发射率
1	最大管电压125kV	9.8mGy·m ² /mA·min
2	常用最大电压90kV	5.3mGy·m ² /mA·min

②漏射线：由X射线管发射的透过X射线管组装体的射线。根据NCRP147号报告第138页C.2可知，DSA装置的漏射线剂量率很小，泄漏辐射距焦点1m处，在任一100cm²区域内的平均空气比释动能不超过1mGy/h。

③散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（限束装置、受检者、射线接收装置及检查床、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与X射线能量、X射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离等有关。

（2）废气

X射线与空气作用，可以使气体分子或原子电离、激发，产生臭氧和氮氧化物，影响室内空气质量。臭氧和氮氧化物是一种对人体健康有害的气体。本项目DSA设备X射线能量低，废气产生量少；依托排风管道引至室外排放。

（3）废水

本项目产生的少量医疗废水经内科综合楼-2F规划埋地式污水处理站预处理达标后，依托医院总排放口排入市政污水管网，至武隆区污水处理厂处理达标后，最终外排乌江。

（4）固废

本项目介入手术过程中产生的少量危险废物主要来自介入手术产生废一次性医疗用品、器械等，分为感染性废物（废物代码：841-001-01）和损伤性废物（废物代码：841-002-01）两种，属于《国家危险废物名录》中HW01医疗废物。医院在DSA机房内设置感染性废物和损伤性废物收集桶，并粘贴标识。手术过程中产生废物经打包整理后，运至内科综合楼10F同层南侧污物暂存间暂存，当天运至停车楼-1F规划医疗废物贮存点，统一交由有资质单位处理。

DSA装置在运行时采用实时成像系统，不洗片，无废片产生。内科综合楼DSA项目产生的生活垃圾暂存于停车楼-2F规划生活垃圾暂存处，再统一交由环卫部门处理。项目拟或已配置的铅衣、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽、铅防护眼镜、介入防护

手套等含铅防护用品，在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后由医院收集妥善保存。报废的 DSA 按照要求对其装置内的 X 射线管进行去功能化，做好相关记录存档。

9.3 污染源项小结

综上，本项目主要污染物情况统计汇总见表 9-7。

表9-7 本项目主要污染物情况统计汇总表

场所	污染类型	主要污染因子	最大产生量	处理方式和去向	
直线加速器机房	电离辐射	X射线	10MV，主射束方向 1m 处剂量率最大为 24Gy/min；CBCT 部分的 X 射线能量最高为 150kV，距靶 1m 处的发射率不大于 13.4mGy·m ² /mA·min	屏蔽体防护	
		电子线	不大于22MeV，在等中心处电子线最大输出剂量率不大于 2400cGy/min		
CT模拟定位机房	电离辐射	X射线	最大140kV，离靶1米处的发射率约为11.8mGy·m ² /(mA·min)	屏蔽体防护	
DSA机房	电离辐射	X射线	距靶1m处有用线束的发射率：125kV下不大于 9.8mGy·m ² /mA·min，90kV不大于 5.3mGy·m ² /mA·min；漏射线距焦点1m处平均空气比释动能率不超过1mGy/h	屏蔽体防护	
本项目	非放射性废气	臭氧、氮氧化物等	少量	通风换气	
	非放射性废水	医疗废水、生活污水	少量	经内科综合楼-2F规划埋地式污水处理站处理达标后，依托医院总排放口排入市政污水管网，至武隆区污水处理厂处理达标后，最终外排乌江	
	非放射性固废	医疗废物		少量	依托停车楼-1F规划医疗废物贮存点贮存，统一交由有资质单位处理
		生活垃圾		少量	依托医院收运系统，交由环卫部门处理
		铅防护用品		少量	在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后由医院收集妥善保存
		加速器机头更换组件		少量	交由厂家或维修单位按相关规定进行处理
		报废的DSA、直线加速器CBCT	少量	按照要求对其装置内的 X 射线管进行去功能化，做好相关记录存档	

表 10 辐射安全与防护

10.1 布局与分区

10.1.1 放疗中心各机房

(1) 布局情况

本项目放疗中心拟位于医院红线范围内南侧地块新建直线加速器楼 1F 内，包括 1 间直线加速器机房和 1 间 CT 模拟定位机房及控制室、设备间、办公室、计划室、物理室、制模室、阅片/医生办公室等配套辅助功能用房。直线加速器机房拟设置 L 形迷路，与 CT 模拟定位机房相邻布置，直线加速器机房北侧外拟设置控制室和设备间，CT 模拟定位机房西侧外拟设置独立控制室。直线加速器机房屏蔽主体结构均拟采用混凝土，其有用线束投照方向为东西两侧及楼上楼下，东西两侧外分别为 CT 模拟定位机房和办公室等，其有用线束投照方向未朝迷路和控制室；楼上为车库，楼下为基土层。CT 模拟定位机房与控制室相邻墙上拟设置铅玻璃观察窗，观察窗设置位置便于查看机房内患者情况。

(2) 布局合理性分析

①本项目放疗中心各机房拟位于直线加速器楼 1F 内，属于建筑物底层，楼下无建筑，楼上为车库；与 CT 模拟定位机房等辅助用房相邻及同层布设，相对集中，且设置齐全，满足放疗开展需求。

②直线加速器机房拟设置 L 形迷路，机房屏蔽体拟采用混凝土结构，控制室拟设置在机房北侧外，并拟单独设置水冷机房和设备间。

③直线加速器机房有用线束投照方向未朝向控制室，也不朝向迷路方向。

④CT 模拟定位机房与直线加速器机房相邻设置，控制室与机房间相邻墙上拟设置铅玻璃观察窗，观察窗设置位置便于查看机房内患者情况。

综上，本项目放疗中心各机房及其配套辅助用房集中布置，并与其他科室相对独立，不存在交叉，其布局便于开展辐射安全管理，符合有关法规标准与辐射防护安全要求。从辐射防护与环境保护角度，平面布局合理。

10.1.2 DSA 机房

(1) 布局情况

医院新建内科综合楼拟位于医院红线范围内西北侧地块，本项目 DSA 机房拟位于内科综合楼 10F 手术中心靠北侧中部，机房四周分别为 OR02 手术室、缓冲、控制室、

设备间、楼梯间及手术中心其他功能用房等。DSA 机房控制室拟独立设置在机房外，机房与控制室之间拟设置观察窗。

(2) 布局合理性分析

本项目 DSA 机房拟布置在新建内科综合楼 10F 手术中心靠北侧中部，与其它科室相对独立，可依托手术中心相应辅助设施用房，并拟采取符合标准要求的屏蔽防护结构和材料，充分考虑了周边相邻区域各场所的人员防护与安全；项目布局利于病患就医，人流、物流通道相对独立，其设置布局利于辐射防护安全控制。

综上，本项目各功能用房设置齐全，可依托手术中心相应辅助功能用房，并与其它科室相对独立，其布局便于项目开展辐射安全管理，符合有关法规标准与辐射防护安全要求。从辐射防护与环境保护角度，平面布局合理。

10.2 辐射工作场所分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关要求，拟建项目工作场所拟划为控制区及监督区，实行分区管理，限制无关人员受到不必要的照射。

根据 GB18871-2002 控制区和监督区的定义，控制区：需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。监督区：未被定为控制区，通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关要求：放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）相关要求：放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

项目控制区、监督区具体划分见表 10-1，各工作场所分区图见图 10-1、图 10-2。

表10-1 本项目控制区、监督区划分

工作场所	控制区范围	监督区范围
直线加速器机房	直线加速器机房内（含迷路）	一层：控制室、设备间、相邻过道、办公室、风井 二层：库房、相邻过道、医生办、办公室、风井 机房正上方车库区域
CT模拟定位机房	CT模拟定位机房内	控制室、相邻过道、机房正上方医生办区域
DSA机房	DSA机房内	控制室、设备间、缓冲、楼梯间、相邻走廊、OR02手术室、 机房正上方男更、女更、过道、办公室、值班休息、主任办、 审图打印区域和正下方男更、女更、女卫、过道区域

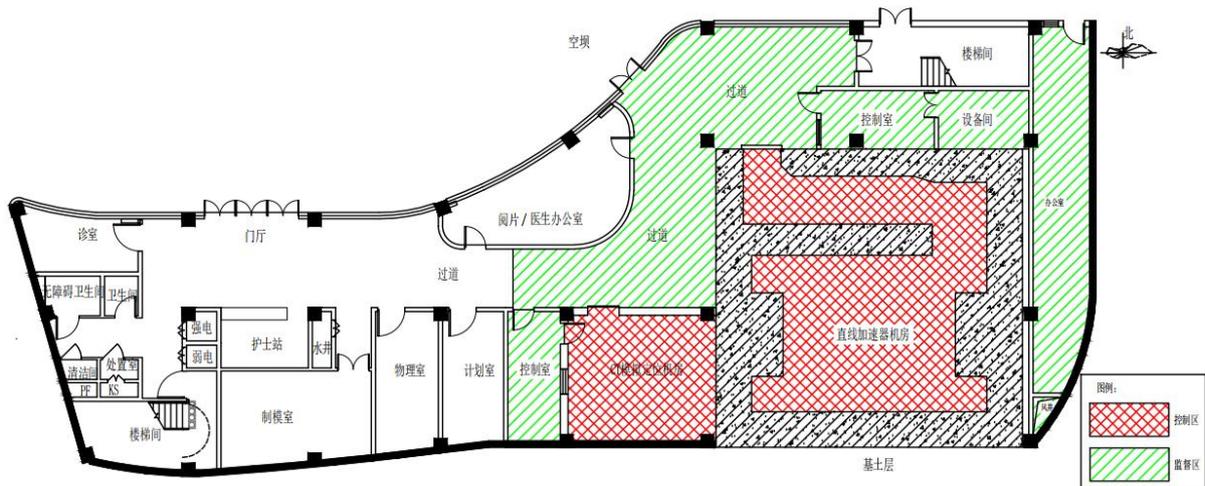


图 10-1 直线加速器机房及 CT 模拟定位机房分区图

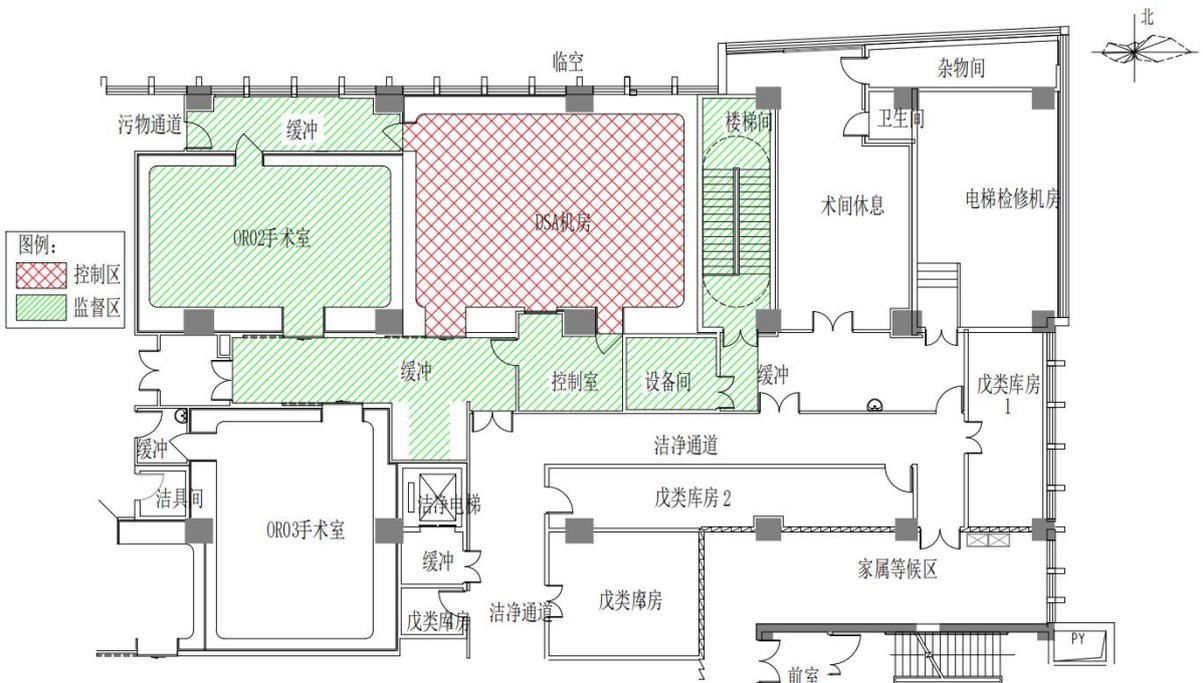


图 10-2 DSA 机房分区图

医院严格限制无关人员进出控制区，在正常诊疗的工作过程中，控制区内不得有无关人员滞留，保障该区的辐射安全。对控制区拟设置防护门、电离辐射警示标志等设

施，并在控制区入口设置规范的电离辐射警告标识及标明控制区的标识，限制无关人员随意进入，以便控制正常照射和防止（或限制）潜在照射；对监督区入口处的适当地点设立标明监督区的标识（与控制区相邻区域设置地面警示贴条），按要求定期检查辐射剂量水平。

10.3 各射线装置机房面积

拟建项目各射线装置机房规格尺寸和标准要求见表10-2所示。

表10-2 各机房建设要求对比表

机房名称	设计情况		标准要求		是否满足要求
	机房内最小单边长度, m	机房内有效使用面积, m ²	机房内最小单边长度, m	机房内最小有效使用面积, m ²	
直线加速器机房	7.50	61.50 (7.50m×8.20m)	有足够的设备使用空间		满足
CT模拟定位机房	5.5	38.7 (7.03m×5.5m)	≥4.5	≥30	满足
DSA机房	7.25	72.50 (10.0m×7.25m)	≥3.5	≥20	满足

备注：标准规定，放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要，本项目直线加速器机房内有效使用面积（不含迷路）为61.50m²，可以满足设备临床使用需求。

根据上表可知，本项目直线加速器机房的最小单边长度及最小有效使用面积满足（GBZ121-2020）等相关要求；CT模拟定位机房和DSA机房的最小单边长度及最小有效使用面积均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关要求。

10.4 辐射安全与防护

10.4.1 直线加速器

（1）设备安全功能

本项目拟购买符合相关要求的设备，拟购设备自身采取多种固有安全防护措施：

①直线加速器由专用钥匙控制，只有通过专用钥匙才能使加速器出射线。钥匙由专人保管。放疗技术人员离开控制室进入机房时，拔出专用钥匙，随身携带，以防他人误操作而发出射线。

②直线加速器使用计算机控制系统的加速器软件和硬件控制程序设置加密措施，未经允许不得存取或修改；用于监视连锁或作为测量线路、控制线路一部分的计算机一旦发生故障，将终止照射。

③控制台能显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等照射参数预选值。

④吸收剂量的控制：设备具有独立的双道剂量监测系统，其输出显示为剂量监测值，并能用来计算受照靶体积内某一参考点的剂量；双道剂量监测系统可实现冗余剂量监测功能，某道剂量监测系统发生故障时，保障另一道能够正常工作；每道剂量监测系统都能设置为达到预置参数时能终止照射；可设置超过值百分比；任何原因引起的剂量监测读数变化大于 5%时，能自动终止照射；双道剂量监测系统的显示清晰易读，紧靠在一起并安置在治疗控制台上预选剂量监测值的显示附近；电源故障或元件失灵造成中断或终止时，两道剂量监测系统显示的预选参数和剂量数据保持不变，失效时刻的预选参数和剂量读数以可读出的方式储存起来，至少保持 20min 以上；中断或终止后把显示器复位到零，下次照射才能启动；控制台上确定剂量监测系统预选参数前，不能开始照射。

辐射头内安装两个辐射探测器，位于均整过滤器和束散射过滤器的患者一侧，其中心在参考轴上；照射过程中，如果辐射探测器偏离参考轴，能终止照射。

在治疗控制台上配置一个控制计时器。控制计时器为递增式计时器，与照射的启动和停止同步，在照射中断或终止后保持其读数，照射终止后，在启动下次照射之前能复位回零，为防止剂量监测系统失效，当预选的时间达到时，终止照射，独立于任何其他控制照射终止系统或子系统，保控制计时器的设定值不超过使用说明书给定的限值，在两次照射之间或在照射前控制计时器能终止照射。

⑤辐射类型的选择和显示：照射终止后，在控制台上重新选择好辐射类型之前，无法进行下一次照射；当要求在机房内和控制台上均进行选择辐射类型时，一处的选择不能在另一处显示出来，只有等两处都完成选择后才给出显示；在机房内的选择与控制台的选择不一致时，能阻止照射；在照射期间和在照射之前，能在治疗控制台上显示所用照射类型；联锁装置能确保只能进行被选类型的照射。

⑥能量的选择和显示：照射终止后，在控制台上重新选择好能量之前，能阻止下一次照射；当要求在机房内和控制台上均进行选择能量操作时，一处的选择不能在另一处显示出来，只有等两处都完成选择后才给出显示；机房内的选择和控制台上的选择不一致时，能阻止照射；能产生不同能量辐射束的设备，在照射期间和在照射之前能在控制台上显示在使用说明书上规定的能量值；正常运行时，在所选运行模式和能量的条件下产生的辐射，发生在 X 射线靶上电子轰击平均能量的偏差超过 $\pm 20\%$ 时，或者在电子线窗上电子轰击平均能量偏差超过 $\pm 20\%$ 或 $\pm 2 \text{ MeV}$ （取其小者）时，都能终止照射。

⑦楔形过滤器的选择和型式：加速器能自行选择楔形过滤器，能在机房、控制台选

择并在控制台显示后才能启动出束。出束前楔形过滤器未到位，能有两个独立的联锁装置阻止出束或终止照射。

⑧照射限束装置的联锁：当 X 射线限束装置被用作电子线限束系统的一部分时，有联锁，当实际位置和要求的位置相差超过 10cm（在正常治疗距离处）时，能阻止电子线。

(2) 屏蔽措施

①屏蔽体

直线加速器机房屏蔽防护材料主要采用混凝土，其混凝土及防护门设计厚度详见表 1-2，且根据后文核算，直线加速器机房各屏蔽体能起到较好的屏蔽防护效果，屏蔽能力满足相关要求。防护门由专业单位安装，防护门与墙体的重叠宽度不小于其缝隙的 10 倍，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。

②穿墙管线补偿

直线加速器机房穿墙管线包括电缆沟、通风管、测试管、冷媒管及冷凝管等，穿墙管线平面布置示意图见图 10-3。

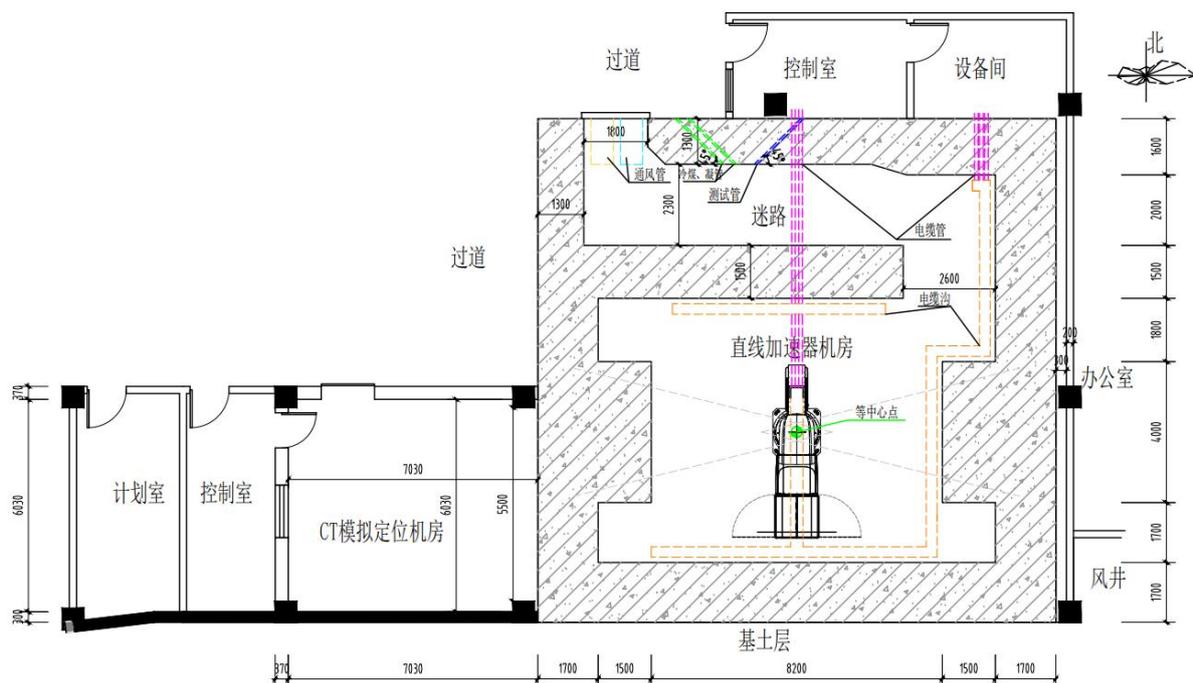


图 10-3 直线加速器机房各穿墙管线平面布置示意图

电缆沟：

直线加速器机房电缆沟穿墙处位于直线加速器机房迷路外墙，电缆沟截面尺寸为 300mm（宽）×450mm（深），电缆沟采用“U”形由机房地平下方穿过机房墙体分别

进入设备间和控制室，电缆沟盖板为 30mm 钢板，示意图见图 10-4。

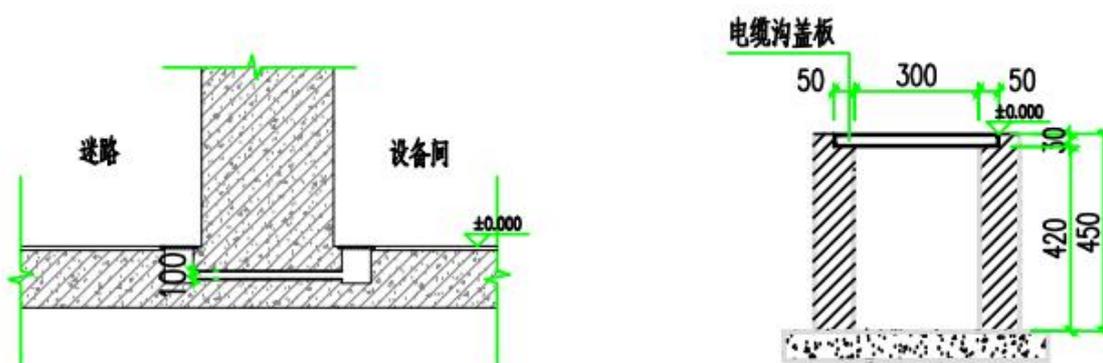


图 10-4 电缆沟示意图

通风管：

通风管道穿墙处均位于机房防护门上方混凝土区域，共 2 条管道，其穿墙口尺寸均为 630mm（宽）×400mm（高），通风管道穿墙口由机房内至机房外呈“Z”形穿过屏蔽墙，扣除管道孔洞后，穿墙区域水平方向上混凝土最薄处约为 400mm，其管道外壁包裹 5mmPb 铅皮，穿墙口内高外低，外侧离机房外地面高度约 2850mm，示意图见图 10-5。

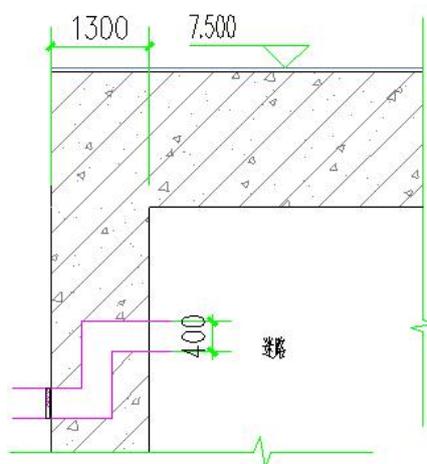


图 10-5 通风管示意图

测试孔：

测试孔由直线加速器机房迷路外墙处以水平斜向 45°穿过屏蔽墙进入控制室，且垂直方向上也为斜向，机房内穿墙口离地高度为 300mm，控制室处穿墙口离地高度为 1200mm，管道直径为 80mm，示意图见图 10-6。

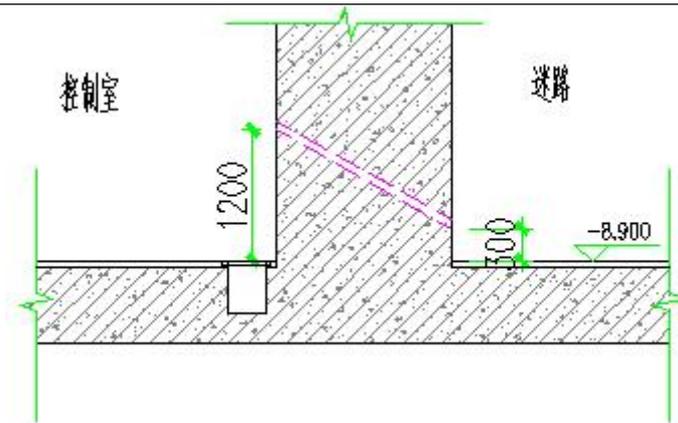


图 10-6 测试孔示意图

冷媒管及冷凝管：

冷媒管由直线加速器机房迷路外墙处以水平斜向 45°穿过屏蔽墙至机房外过道，且垂直方向上也为斜向，机房内穿墙口离地高度为 3.2m，室外过道处穿墙口离地高度为 3.3mm，管道直径为 150mm；冷凝管由直线加速器机房迷路外墙处以水平斜向 45°穿过屏蔽墙至机房外过道，且垂直方向上也为斜向，机房内穿墙口离地高度为 3.3m，室外过道处穿墙口离地高度为 3.2m，管道直径为 100mm，示意图见图 10-7。

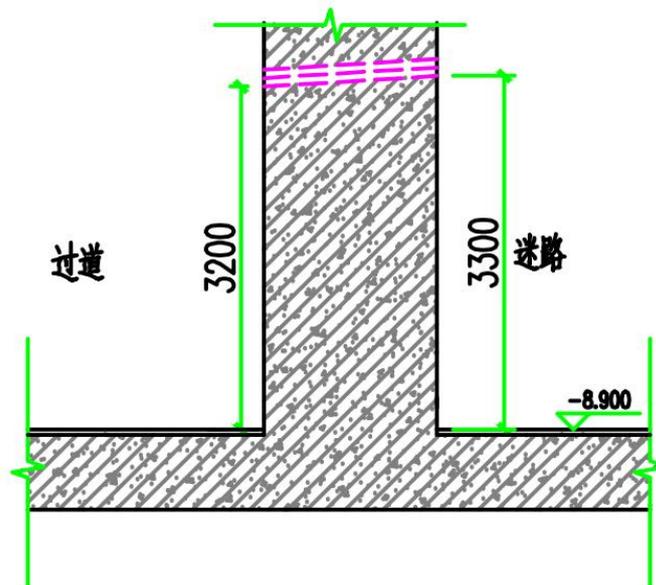


图 10-7 冷媒管及冷凝管示意图

经分析，直线加速器机房拟采用预埋套管一次性整体连续浇筑，有用线束不直接照射各类管线预埋套管；且各穿墙管线的屏蔽防护补偿措施能起到较好的屏蔽补偿效果，屏蔽能力满足相关要求。

(3) 辐射安全措施

①直线加速器机房设置多重联锁装置，防护门未关闭之前，设备无法启动，如果设

备运行过程中防护门打开，设备将停止运行。

②直线加速器有两道独立的剂量监测系统，每一道剂量监测系统能单独终止辐照，一道剂量系统发生故障不影响另一道系统的功能。当控制台计算机故障、加速管真空故障等加速器会自动出现系统联锁，不能发出射线。

③直线加速器故障保护系统：由主要联锁和次级联锁组成，主要联锁是为了在机器的元器件或子系统出故障时立即停止出束并关闭发热元件，防止故障的进一步扩大。次要联锁提醒操作者可能存在影响机器工作的状态，产生次要联锁时机器马上转到“停止出束”状态。

④直线加速器机房拟设置多个急停开关，分别安装在机房迷道上和机房内四周墙上，另控制室内也设置有急停开关。紧急停机开关为红色按钮式开关，易于辨认，按下后不能自动复位。在紧急情况下，便于机房和控制室内的人员及时终止照射。机房墙壁上的紧急停止按钮安装高度约 1.3m。多个急停开关能保证在事故状态下机房内、控制室内的人员及时按下按钮停止直线加速器出束。

另外，项目直线加速器拟集成的 CBCT 与加速器是一个整体，其联锁方式等与加速器一致。如门机联锁，在防护门开启时，CBCT 不能启动，CBCT 出束时防护门打开则自动断电停止出束。其余不再赘述。

(4) 固定式剂量报警装置

直线加速器机房内拟设置固定式剂量报警装置，仪器探头安装在机房迷道的内入口处墙体上，仪表指示仪装在控制室内，对机房内剂量率进行实时监测和报警。实时剂量率监测值显示在主机面板上，实时剂量率的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警装置，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

(5) 对讲系统、视频监控系统

直线加速器机房内拟安装视频监控系统与对讲系统，显示器和控制器设置在控制室内，辐射工作人员在控制室内便可清晰地观察到患者的治疗情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、设备异常等情况，可及时采取紧急措施。机房与控制室拟设置对讲设备，便于辐射工作人员与患者之间进行交流。

加速器机房内视频监控系统拟共包含多个监控探头，主要分布在机房内、迷道内，能保证控制室人员全方位无死角的监控机房内的情况。

(6) 工作状态指示灯、警示标识

项目直线加速器机房防护门外拟设置规范的电离辐射警告标志和中文警示说明。机房防护门上方拟安装醒目的工作状态指示灯，提醒周围人员不在此处逗留。直线加速器机房的工作状态指示灯与设备连锁。

(7) 应急开门措施

机房防护门为电动滑门，拟设置红外防挤压装置，防人员被夹伤。拟在控制室内设置开关门按钮，正常情况下由控制室内工作人员操控。另外，防护门内侧墙壁上拟紧急开门按钮，在发生意外时可由机房内人员可通过该按钮打开防护门出来。拟在机房防护门外侧墙壁上安装手动应急开门手摇装置以备停电时使用，紧急情况下可手动打开防护门。

(8) 通风

本项目拟设置进风和排风系统，机房内拟设置 2 个进风口和 2 个排风口，并连接至相应通风管道。直线加速器机房进风口拟设置在机房内迷道墙靠加速器设备侧上方吊顶处，排风口拟设置在对侧墙体（机房内南侧墙体）下方靠近地面处，呈对角线“上送下排”式设置，废气经排风管道至直线加速器机房西侧依托直线加速器楼排风井引至楼顶排放，能保证机房内良好的通风。直线加速器机房排风风量约 6820m³/h，机房容积约 390m³，通风换气次数约为 17 次/h，不小于标准规定的 4 次/h。

(9) 管理措施

①拟配备的辐射工作人员应经过辐射安全与防护知识和相关法律法规培训，及加速器专业知识培训，并经过考核合格后方可上岗。

②工作人员在操作直线加速器之前，要求正确佩戴并开启剂量报警仪，在设备使用之前需要从监控设备中确定机房内是否有无关人员滞留。治疗期间应有两名操作人员值班，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。除接受治疗的患者外，机房内不得有其他人员。

③订购固定式剂量报警装置时，注意其探测器的能量响应，要能满足本项目辐射剂量监控的要求。

④直线加速器机房屏蔽墙体采用普通混凝土一次浇筑完成，保证施工质量。购买有经验的商品混凝土搅拌站经配合实验后拌制的混凝土，混凝土浇筑时现场取样，检测其密度，委托有资质单位施工并进行施工质量的监理。

⑤除与诊疗工作相关的物品外，设备机房内均不存放无关杂物。

⑥拟制定直线加速器相应辐射事故应急处理措施，明确具体辐射事故的处置流程。

⑦针对辐射工作场所防护情况，将每年委托有资质单位进行一次监测，并将监测结果妥善保管，发现异常及时进行处理。

(10) 综合情况

综上所述，项目直线加速器辐射防护与安全设施等见表 10-3。项目直线加速器机房主要辐射安全防护设施布置示意图见图 10-8。

表 10-3 加速器辐射防护与安全设施一览表

工作场所	安全防护措施	数量	说明	备注	
直线加速器机房及控制室等	急停开关	多个	红色按钮。分别位于加速器控制室、机房内、迷道上。按下急停按钮后不能自动复位。紧急情况下便于终止治疗。	/	
	视频监控设备	1套	布置在机房内、迷道内，便于全方位观察机房及迷道内的情况。		
	对讲系统	1套	方便机房内外工作人员之间、工作人员与病人之间进行沟通交流，病人有困难时方便停止治疗。		
	联锁装置	多套	直线加速器机房设置多重联锁装置，包括门机联锁、系统联锁、双剂量联锁、故障保护系统等。		
	警示标志警示语	若干	在机房入口处设置电离辐射警告标志和中文警示说明，防止警示与误进入。		
	应急开门装置	1套	停电时，防护门电机锁定解除，可以手动推开。		
	红外防挤压装置	1套	防人员被夹伤。		
	固定式剂量报警仪	1套	1个探头位于机房迷道内入口处墙体上，仪表指示仪装在控制室内。对机房进行实时剂量率、累积剂量监测和声光报警。		
	工作状态指示灯	1套	两色信号灯，红色：直线加速器运行严禁入内。绿色：电子加速器进入准备出束状态。		
	个人剂量报警仪	2台	进入直线加速器机房内工作人员使用		
	个人剂量计	若干	每名辐射工作人员佩戴1枚		根据人员配置
	X、γ辐射检测仪	1台	日常监测使用		加速器专用
	放疗剂量仪、三维水箱	1套	设备质量检测使用	加速器质控	
应急照明	1套	机房内外安装应急照明装置	/		

备注：直线加速器工作场所急停按钮、监控、固定式报警仪等安全设施安装时，应结合使用需求确定合适高度，确保设施可以满足正常使用。

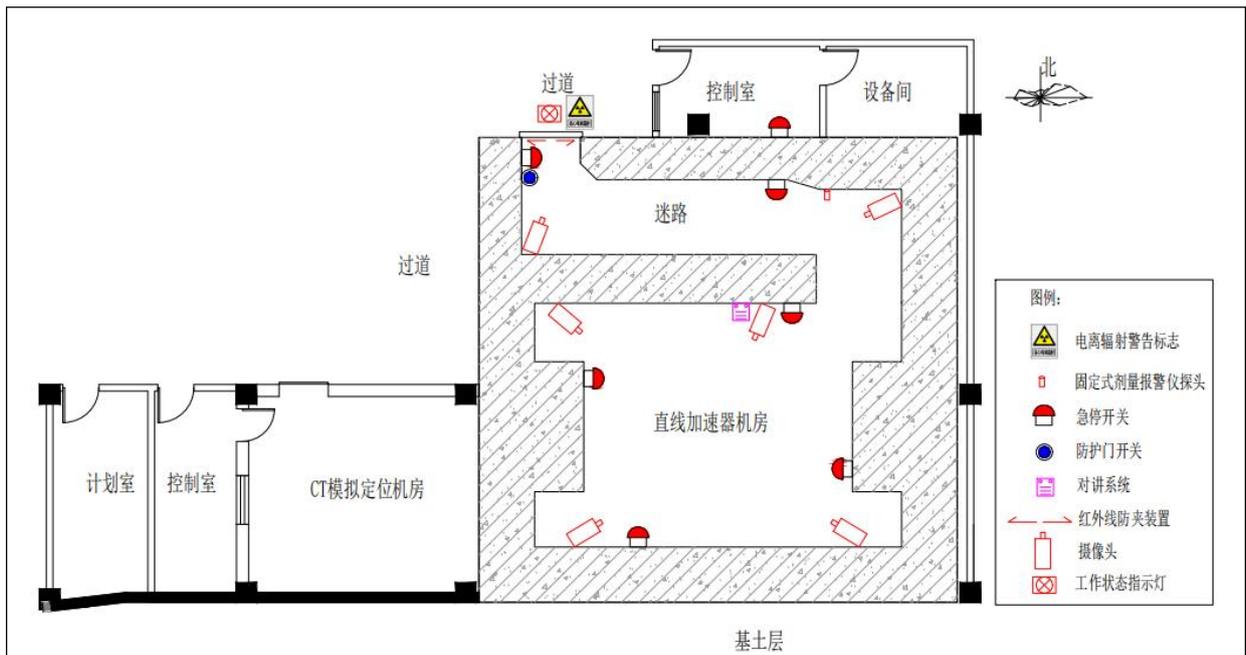


图 10-8 直线加速器机房辐射安全设施布置示意图

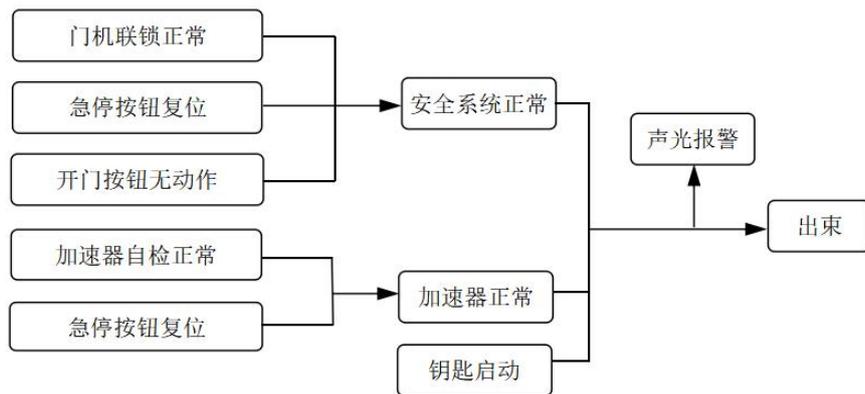


图 10-9 加速器辐射安全联锁逻辑关系示意图

根据以上安全措施可知，仅当加速器机房的门机联锁正常、各急停按钮全部复位、开门按钮无动作、加速器自检正常等全部满足要求，才能通过钥匙启动加速器运行出束。当前述任一条件出现故障不满足要求时，加速器不能运行出束；同时，在加速器运行出束过程中，前述任意条件不能满足时，加速器自动停止出束；符合辐射安全纵深防御原则。

上述直线加速器机房拟设置的辐射防护安全与设施能满足辐射防护安全的要求，保证射线装置正常运行，减少对周围环境和人员的影响。

10.4.2 CT 模拟定位机房

(1) 设备安全功能

本项目拟购买符合相关要求的设备，拟购设备自身采取多种固有安全防护措施：

①设备自带出线口限束系统；设备有清晰的焦点位置标示及过滤条件标示；

②在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所用的设备运行条件；对于任何一种扫描程序，都能在操作者控制台上显示剂量信息。

③模拟定位机设备上和控制台设置急停按钮。

④模拟定位机拟安装在机房中央位置。

(2) 屏蔽措施

CT 模拟定位机房北侧、西侧墙体为 370mm 实心砖，南侧墙体为 300mm 混凝土，东侧墙体为 1700mm 混凝土，顶棚为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥，防护门、铅窗为 4mmPb，能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 3 的要求。防护门由专业单位安装，防护门与墙体的重叠宽度不小于其缝隙的 10 倍，以保证防护门搭接处的屏蔽能力。

(3) 通风

CT 模拟定位机机房拟采用通排风系统，机房内拟布置进风口和排风口，均位于机房吊顶处，离地高度均约 3.2m；废气经排风管道至直线加速器机房西侧依托直线加速器楼排风井引至楼顶排放，能保证机房内良好的通风。

(4) 管线进出口防护

①穿墙风管：机房进风管穿墙口距室内地面约 3.3m，以直穿墙体方式穿越，穿越机房墙体 1 次，穿墙管径分别为 250mm×160mm；排风管穿墙口距室内地面约 3.5m，以直穿墙体方式穿越，穿越机房墙体 1 次，穿墙管径均为 400mm×160mm；拟在穿墙位置处内侧包裹长度不低于 2 倍管径宽度的 3mmPb 铅皮，以进行屏蔽补偿，射线需经过多次散射才能穿出，能保证机房的屏蔽能力，对环境影响很小。

风管穿越墙体示意图见图 10-10。

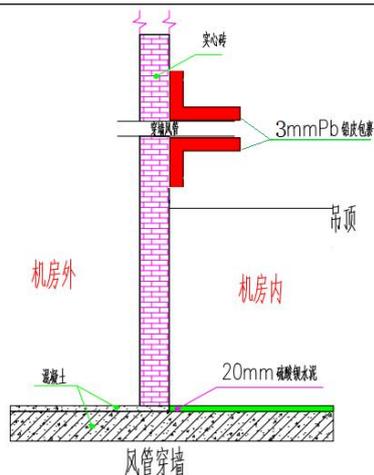


图10-10 风管穿越墙体示意图

②穿墙电缆：CT 模拟定位机房与控制室之间设有穿墙线缆沟，线缆沟采用直穿方式从西侧墙体下方进入控制室内，穿越处尺寸为 $200 \times 200\text{mm}$ ，机房内线缆沟穿墙洞口位置采取包裹 3mmPb 铅皮进行屏蔽补偿，铅皮包裹长度均不低于 2 倍线缆沟沟径宽度，线缆沟上方覆盖 3mm 不锈钢盖板，以形成完整的防护层，以免射线泄漏。在采取上述穿墙部位屏蔽补强措施后，穿墙部分不会影响墙体整体的防护性能。线缆沟防护大样图见图 10-11。

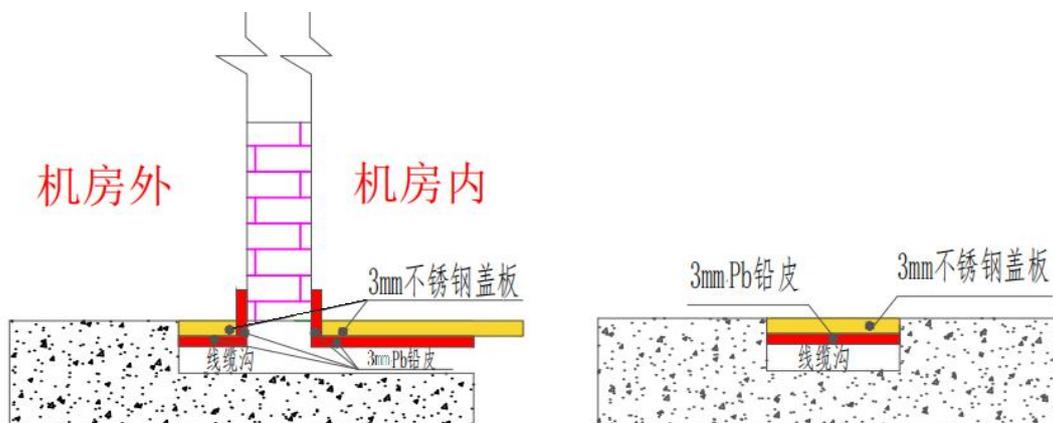


图10-11 线缆沟防护大样图

(5) 工作信号指示灯及警示标识

CT 模拟定位机房各防护门上方拟设置工作状态指示灯，并设置门灯联动装置；各防护门上拟设置电离辐射警示标志，拟在外墙醒目位置设置放射防护注意事项告知栏，提醒周围人员尽量远离该区域，减少无关人员在机房外的停留时间。

(6) 闭门和防夹

CT 模拟定位机房患者进出门拟为电动推拉门，拟设置红外线防夹装置，同时在控制室张贴确认机房门关闭后再开始曝光的提示标语；机房工作人员进出门拟为平开门，

拟设置自动闭门装置。

(7) 个人防护用品及监测仪器

CT 模拟定位机工作场所拟配置铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套等个人防护用品。

表 10-4 拟配置的个人防护用品和辅助防护设施情况

设备类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 模拟定位机	/	/	防辐射裙、防辐射围领 (成人、儿童各 1 套)	/

备注：成人防护用品的铅当量应不低于 0.25mmPb，性腺防护用品和儿童防护用品的铅当量应不低于 0.5mmPb。患者可以根据需要选配铅橡胶帽子，铅当量不低于 0.25mmPb。

10.4.3 DSA 机房

(1) 设备固有措施

本项目拟购买符合相关要求的设备，拟购 DSA 装置自身采取多种固有安全防护措施：

①拟购 DSA 装置配置可调限束装置，使装置发射的线束照射面积尽量减小，以减少泄漏辐射。透视曝光开关为常断式开关，并配备透视限时装置。DSA 具备工作人员在不变换操作位置情况下成功切换透视和采集功能的控制键。

②采用光谱过滤技术：在 X 射线管头处设置合适铝过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应 DSA 不同应用时可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和铝过滤板。平板探测器前面酌情配置各种规格的滤线栅，减少散射影响。

③采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。

④采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留于监视器上显示，即称之为图像冻结（last image hold, LIH）。充分利用此方法可以明显缩短总透视时间，达到减少不必要的照射。

⑤应急开关：DSA 装置上及控制台上设置急停开关，按下急停按钮，DSA 装置立即停止出束。

⑥设备控制台和机房内显示器上能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。

⑦辅助防护设施：包括铅悬挂防护屏、床侧防护帘、床侧防护屏等。

(2) 拟采取的辐射安全与防护措施

①医院在进行介入手术时，制定最优化方案，在满足诊断前提下，选择合理可行尽量低的射线参数、尽量短的曝光时间，减少辐射工作人员和周围公众的受照射时间。

②DSA 机房拟设置 3 扇含铅防护门和控制室墙上拟设置 1 个铅玻璃观察窗。DSA 机房各防护门、观察窗与墙体之间采取足够的搭接宽度。患者进出机房防护门拟设置电动滑门，并拟设置门灯联动装置和防夹装置，拟制定曝光时关闭机房门的管理措施；控制室防护门和污物通道防护门拟为平开单开门，拟设置门灯联动装置和自动闭门装置。

③DSA 机房各防护门均拟设置门灯联动系统，各防护门外上方拟设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置警示语句，如“射线有害、灯亮勿入”，在防护门关闭时，指示灯亮，警示无关人员远离该区域。

④DSA 设备上及控制台上设置急停开关，按下急停按钮，DSA 设备立即停止出束。辐射安全设施和措施见图 10-12。

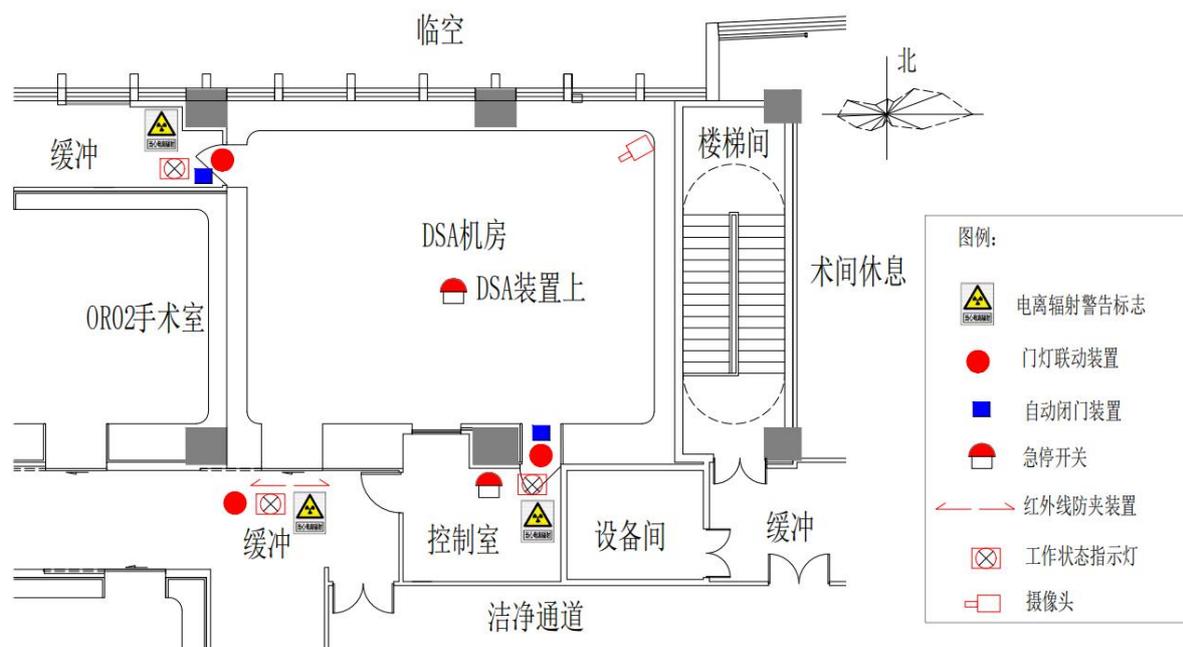


图 10-12 辐射安全设施和措施图

只有在安全防护装置正常的情况下，设备才能启动。各防护门关闭，工作状态指示灯亮起，急停按钮复位，设备自检正常，安全系统正常即可出束。设备运行过程中，如果按下任何一个急停按钮，设备会立即停止运行。辐射安全联动逻辑见图 10-13。

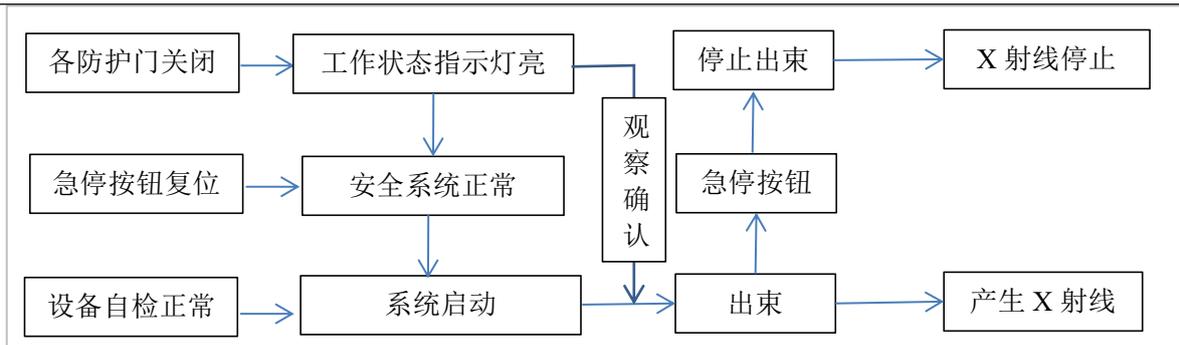


图10-13 本项目DSA辐射安全联动逻辑图

④DSA机房各防护门外均拟设置电离辐射警告标志，并拟在缓冲区外墙上醒目位置张贴辐射防护注意事项告知栏。

⑤本项目拟在控制室和机房之间设置双向对讲系统，便于机房内辐射工作人员与控制室内人员沟通；DSA机房南侧墙体上拟设置铅玻璃观察窗，以便控制室内辐射工作人员观察到受检者状态。

⑥DSA机房内拟设置视频监控系统，其中摄像头拟位于机房内东北角上方，显示器位于控制室内，以便控制室内工作人员观察到机房防护门及污物通道防护门开闭情况。

⑦本项目拟为放射技师各配备1枚个人剂量计。拟为介入手术医生和护士各配备双剂量计，介入手术医生和护士应在铅围裙外锁骨对应的领口位置和铅围裙内躯干上戴剂量计，内外两个剂量计应有明显标记，防止剂量计戴反，及时对剂量计送检，监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月，建立个人剂量档案。建议在工作人员身体可能受到较大照射的部位宜佩戴局部剂量计（如指环剂量计等）。

（3）通风

机房内拟布置进风口和排风口，其中进风口拟设置8个，分别拟位于机房北侧、南侧、东侧墙体距地面约30cm处，排风口拟位于机房内靠西侧吊顶处，离地高度约3.0m；废气经排风管道引至同层北侧墙体室外排放，能保证机房内良好的通风。

（4）管线进出口防护

①穿墙风管：排风管穿墙口距离室内地面约3.3m，以直穿墙体方式穿越，穿越机房北墙体1次，穿墙管径为250mm×200mm；送风管穿墙口距离室内地面约3.5m，以直穿墙体方式穿越，穿越机房西墙体2次，穿墙管径分别为500mm×250mm、1000mm×500mm。各穿墙处均在机房内侧包裹长度不低于2倍管径宽度的2mmPb铅皮，以进行屏蔽补偿，射线需经过多次散射才能穿出，能保证机房的屏蔽能力，对环境影响很小。

风管穿越墙体示意图见图 10-14。

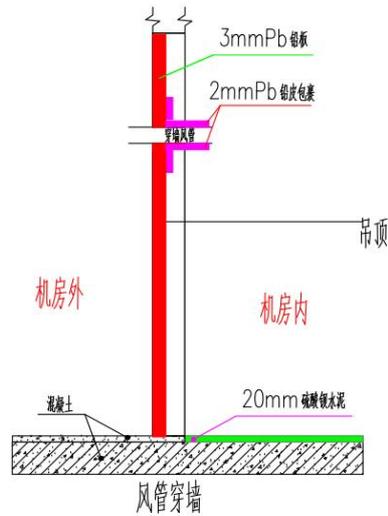


图10-14 风管穿越墙体示意图

②穿墙电缆：DSA 机房设备间电缆线，从设备间楼板洞口，向下穿过洞口到达楼下 9F 顶板，沿楼下 9F 顶板敷设至 DSA 装置基座正下方，从 DSA 装置基座正下方穿过地板至 DSA 机房内；控制室内电缆线从 DSA 装置基座正下方向下穿过洞口到达楼下 9F 顶板，沿楼下 9F 顶板敷设至控制室正下方，从控制室正下方穿过地板至控制室内；拟采用直穿方式穿过屏蔽体，楼板线缆孔洞直径约为 200mm，穿墙洞口位置拟在楼下 9F 顶板包裹长度不低于 2 倍管径宽度的 2mmPb 铅皮，以进行屏蔽补偿，避免射线漏出。在采取上述措施后，穿过楼板部分不会影响墙体楼板的屏蔽效能。电缆走向示意图见图 10-15，电缆穿墙屏蔽补偿大样图见图 10-16。

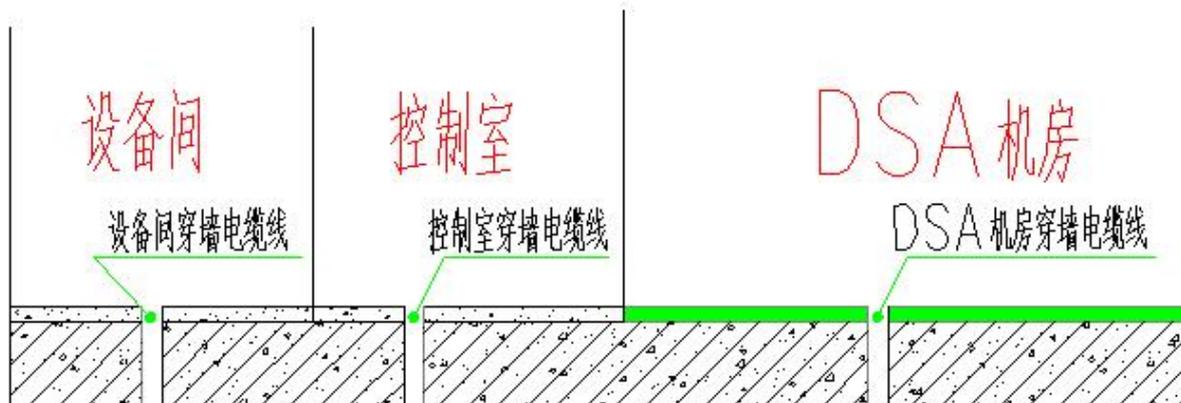


图10-15 电缆走向示意图

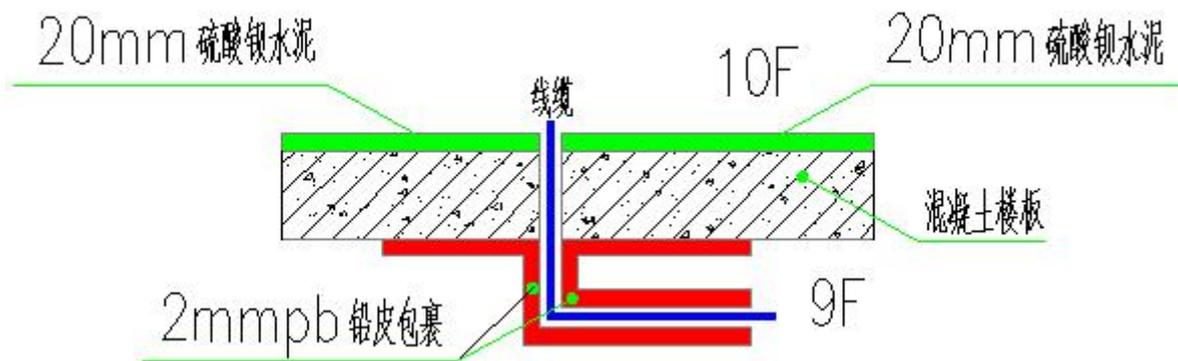


图10-16 电缆穿墙屏蔽补偿大样图

(5) 个人防护防护用品

根据医院提供的资料，医院拟配备辐射防护用品，具体见表10-5。

表 10-5 本项目拟配备的个人防护用品与标准对照表

机房名称	人员类型	《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 要求		本项目拟配置情况		是否符合要求
		个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施	
DSA 机房	辐射工作人员	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	拟配置 0.5mmPb 的铅衣、防辐射裙、防辐射围领、铅橡胶帽 8 套、铅防护眼镜 8 副，0.025mmPb 介入防护手套 8 双。	拟配置 0.5mmPb 铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 1 套，2mmPb 移动铅防护屏风（含观察窗）1 个	符合
	受检者	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——	拟配置 0.5mmPb 防辐射裙、铅防辐射围领、铅橡胶帽 2 套（成人、儿童各 1 套）。	——	符合

说明（GBZ130-2020 要求）：除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb；儿童的 X 射线检查配备的防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb；另外，可以根据工作人员及患者需要选配铅橡胶帽子，铅当量不低于 0.25mmPb。

根据医院提供资料，本项目介入手术一般由 2~3 人在 DSA 机房内操作，故辐射工作人员的防护用品数量可以满足要求，拟配备的防护用品及辅助防护设施的铅当量满足 GBZ 130-2020 要求。

10.5 三废的治理

本项目运行过程中不产生放射性废气、放射性废水和放射性固体废弃物。

10.6 拟采取辐射安全与防护措施与相关要求的符合性分析

本项目拟采取的辐射安全与防护措施与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等相关要求对比情况见表 10-6 所示。

表10-6 项目拟采取的辐射安全与防护措施与相关标准要求对比分析表

标准号	标准要求	项目情况
HJ1198-2021	<p>4.5 构成放射治疗相关辐射工作场所安全联锁系统的物项应满足以下要求：</p> <p>a) 应满足冗余性要求，采用的物项应为完成某一安全功能所必须的最少数目的物项，保证运行过程中某物项失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能；</p> <p>b) 应满足多元性要求，包括系统多元性和多重剂量监测，采用不同的运行原理、不同的物理变量、不同的运行工况、不同的元器件等；</p> <p>c) 应满足独立性要求，当某一安全部件发生故障时，不会造成其他安全部件的功能出现故障或失去作用；</p> <p>d) 应满足失效安全的要求，当某一安全物项或部件出现故障时，应确保放射治疗装置重新回到安全状态。</p>	放射治疗设备自带多重安全联锁系统，且满足冗余性和独立性要求。
	<p>4.7 从事放射治疗的医疗机构应对放射治疗场所和周围环境进行定期的辐射监测和评估，证明采取的辐射安全与防护措施的有效性。</p>	医院拟配置有 X、 γ 辐射检测仪，定期对直线加速器机房外周围剂量当量率进行检测。
	<p>4.10 开展放射治疗活动的医疗机构应制定相应的辐射事故应急处置预案，做好辐射事故应急准备、应急演练和应急响应，确保有效防范辐射事故或缓解辐射事故的后果。</p>	医院已制定辐射事故应急处置预案，直线加速器机房拟制定专项辐射事故应急处理措施，定期组织进行应急演练工作，确保辐射事故的有序处理。
	<p>5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。</p>	直线加速器机房拟位于医院占地红线南侧新建直线加速器楼 1F，位于建筑物底层，选址时已考虑其对周边环境的辐射影响，未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。
	<p>5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。</p>	直线加速器机房拟位于医院占地红线南侧新建直线加速器楼 1F，位于所在直线加速器楼底层东南侧，避开了儿科病房、产房等特殊人群、人员密集区域及人员流动性大的商业活动区域。
	<p>5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流运输通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为</p>	拟按照要求将直线加速器机房（含迷道）以屏蔽墙体及防护门为界设置为控制区，其他相邻的区域设为监督区，并定期对监督区进行监测。

标准号	标准要求	项目情况
	临时控制区。 5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。	
放射治疗场所辐射安全与防护要求	6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	本报告表已按照 6.1.1 的要求核算，直线加速器机房现有设计能满足辐射防护要求。
	6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。	本项目直线加速器机房拟采用符合要求的混凝土浇筑，防护门有足够铅当量屏蔽能力，满足要求。
	6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	本项目直线加速器机房穿越墙体的管线根据不同管线类型分别采用“U”字形、“Z”字形、斜穿等穿越方式，且采取了相关补偿措施，不影响机房的防护能力。防护门设计上考虑了门与墙体的搭接宽度，保证防护门搭接处的屏蔽能力。
	6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等： a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明； b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯； c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。	本项目直线加速器机房入口处拟设置电离辐射警告标志；直线加速器机房防护门外拟粘贴电离辐射警告标志，防护门上方拟设置与设备联锁的工作状态指示灯，机房内设置多个视频监控，显示器安装在控制室内，且机房和控制室间安装对讲装置。
	6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	本项目直线加速器机房内拟安装固定式剂量报警仪探头，安装位置拟位于机房迷道入口处墙体上，显示面板安装在控制室，当出现异常情况时显示面板会出现报警提示。
	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：	直线加速器机房拟设置门机联锁，防护门未完全关闭时不能出束，出束状态下开门则停止出束；

标准号	标准要求	项目情况
	<p>a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源联锁装置, 防护门未完全关闭时不能出束/出源照射, 出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施;</p> <p>b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置, 防护门应设置防夹伤功能;</p> <p>c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮; 急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发;</p> <p>f) 安全联锁系统一旦被触发后, 须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动; 安装调试及维修情况下, 任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证, 工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。</p>	<p>机房内防护门旁拟设开门按钮, 防护门处拟设红外线防夹装置; 机房内拟设多个急停按钮, 主要在机房内四周墙上、迷道内墙以及控制室内, 急停按钮拟设置醒目中文标识, 并能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发; 安全联锁一旦被触发后, 不能自动复位, 需由工作人员在控制台进行操作后才能重新启动设备; 建设单位拟建立相关制度, 规定设备安装调试及维修情况下, 任何联锁旁路拟通过单位辐射安全管理机构的批准与见证, 工作完成后及时进行联锁恢复及功能测试。</p>
	<p>7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查, 保存自查记录, 保证安全联锁的正常有效运行。</p> <p>7.2 治疗期间, 应有两名及以上人员协调操作, 认真做好当班记录, 严格执行交接班制度; 加速器试用、调试、检修期间, 控制室须有工作人员值守。</p> <p>7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室, 进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。检修人员进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域前, 应先进行工作场所辐射监测, 在单位辐射安全管理机构批准后方可进入。进入质子/重离子加速器大厅和束流输运通道区域的参观人员须在辐射工作人员带领下进入。</p>	<p>医院拟制定安全联锁系统检查制度, 根据不同设施情况进行定期检查。</p> <p>本项目拟配置多名辐射工作人员, 2名工作人员作为一组, 同时进行工作; 拟制定工作场所管理制度, 要求设备操作人员做好当班记录, 严格执行交接班制度, 设备试用、调试、检修期间, 必须有操作人员在控制室值守。</p> <p>本项目直线加速器机房拟设置门机联锁、工作状态指示灯、电离辐射警示标志等, 禁止无关人员入内。工作人员在系统提示治疗结束后, 再打开防护门进入机房, 并随身佩戴个人剂量报警仪。</p>
放射性废物管理要求	<p>8.2.2 其他固体废物管理要求</p> <p>1、质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中,</p>	<p>本项目直线加速器机头组件更换后全部交由厂家回收。本项目直线加速器 X 射线能量最大值为 10MV, 无其他</p>

标准号	标准要求	项目情况
	<p>如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。</p> <p>2、建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。</p>	放射性固废。
	8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于4次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。	本项目直线加速器机房内拟设置机械通风系统，换气量约17次/h，废气经排风管道至直线加速器机房西侧依托直线加速器楼排风井引至楼顶排放，排风口周围人流较小，且人员停留时间短。
辐射监测要求	9.1.1 开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。	医院拟制定辐射监测制度，辐射工作场所拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测。
	9.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括但不限于测量对象、条件、方法、仪器、时间和人员等信息。	医院拟建立监测档案，将每一次监测内容、数据等记录在册，存档备查。
	9.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应及时查找原因并报告，同时进行整改。	项目运行后，工作场所辐射水平年度监测交有资质单位进行，并由监测单位对结果进行分析评价。
	9.2.1 应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，对辐射工作场所的辐射水平（X- γ 辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。	医院拟制定辐射监测制度，辐射工作场所拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测。
	9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外30cm处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展X- γ 辐射周围剂量当量率监测；中子源治疗装置、质子/重离子加速器治疗装置、大于10MV的X射线放射治疗设备还应对前述位置开展中子剂量当量率监测。	按照规范要求，医院拟每年委托有资质单位对辐射工作场所外周围剂量当量率进行监测。本项目直线加速器为10MV，不开展中子剂量当量率监测。
9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。	设备安装调试完成后，拟委托有资质单位对设备性能和 workplaces 辐射水平进行验收监测。	

标准号	标准要求		项目情况
		9.3.1 开展放射治疗相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所运行工况下周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。	医院拟制定辐射监测制度，辐射工作场所拟每年委托有资质单位进行辐射防护监测。
		9.4.1 放射治疗工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。同时应根据射线类型选择合适的个人剂量计。临时工作人员、实习人员应纳入个人剂量监测范围。	拟为本项目辐射工作人员均配备 1 枚个人剂量计，并定期送交监测，科室的借调、实习等人员均纳入个人剂量监管范畴。
		9.4.2 个人剂量档案应妥善保存，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。	本项目运行后辐射工作人员个人剂量监测报告拟由医院统一保管，并查验个人剂量监测结果，发现异常及时汇报。
GBZ121-2020	空间、通风要求	6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	直线加速器机房内空有效面积约 61.50m ² ，有足够的使用面积，能满足设备的临床应用需要。
		6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。	本项目直线加速器进风口拟设置在机房内迷道墙靠加速器设备侧上方吊顶处，排风口拟设置在对侧墙体（机房内南侧墙体）下方靠近地面处，呈对角线“上送下排”式设置。机房通风换气次数约为 17 次/h。
	放射治疗操作中的放射防护要求	7.1 对于高 10MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。	本项目直线加速器为 10MV，不考虑中子和感生放射性的影响。
		7.3 操作人员应遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，应保障安全联锁正常运行。	医院拟制定操作规程，辐射工作人员工作时按照相关要求和操作规程操作，出束治疗前检查各项联锁装置，保证其均正常运行后再行出束治疗。
GBZ130-2020	5.1 一般要求	5.1.1 X 射线设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。	本项目拟配置自带以上功能的 CT 模拟定位机。
		5.1.2 X 射线管组件上应有清晰的焦点位置。	
		5.1.3 X 射线组件上应标明固有过滤，所有附加滤过片应标明其材料和厚度。	
	5.4 CT 设备防护性能的	5.4.1 在扫描程序开始之前，应指明某一扫描程序期间所使用的 CT 运行条件。	本项目拟配置自带以上功能的 CT 模拟定位机。

标准号	标准要求	项目情况
专用要求	5.4.2 对于任意一种 CT 扫描程序，都应在操作者控制台上显示剂量信息。	
	5.4.3 CT 设备应设置急停按钮，以便在 CT 扫描过程中发生意外时可以及时停止出束。	
5.8 介入放射学用 X 射线设备防护性能的专用要求	5.8.2 在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。	拟购买满足标准要求的设备，设备具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的脚踩控制键。
	5.8.3 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。	拟购买满足标准要求的设备。
	5.8.4 介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。	拟购买满足标准要求的设备，设备控制台和 DSA 机房内显示器上能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。
6.1 X 射线设备机房布局	6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	拟合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，以避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位，本项目各管线口均拟采取屏蔽补偿措施。
	6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。	本项目各机房四周墙体、楼上均拟采用足够厚的屏蔽材料进行防护，X 射线装置拟位于机房内中部位置，与周围均有一定的距离，机房和设备的布局已考虑邻室（含楼上）及周围场所的人员防护与安全。
	6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。	各 X 射线设备拟设置独立的机房，能满足使用设备的布局要求。
	6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。	CT 模拟定位机房内空有效面积为 38.7m ² ，最小单边长约为 5.5m，DSA 机房有效使用面积约为 72.50m ² ，最小单边长约为 7.25m，能满足标准要求。
6.2 X 射线设备机房屏蔽	6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。	根据后文计算，本项目 CT 模拟定位机房的屏蔽防护能力均不低于 2.5mmPb，DSA 机房的屏蔽防护能力均大于 2mmPb，满足要求。

标准号	标准要求		项目情况
6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平	<p>6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：</p> <p>a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器回应时间；</p> <p>b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h；</p> <p>c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv。</p>		<p>根据后文核算，本项目CT模拟定位机房屏蔽体外的周围剂量当量率均不大于2.5μSv/h。</p> <p>根据后文核算，本项目DSA装置在透视工况下机房屏蔽体外的周围剂量当量率均不大于2.5μSv/h。</p> <p>根据后文核算，本项目 DSA 装置在采集工况下机房屏蔽体外的周围剂量当量率均不大于 25μSv/h。</p>
6.4 X 射线设备工作场所防护	6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。		<p>CT 模拟定位机房拟设置观察窗，能观察到受检者状态及防护门开闭情况。</p> <p>DSA 机房南侧墙体上拟设置铅玻璃观察窗，能观察到受检者状态及机房防护门开闭情况。</p> <p>DSA 机房内拟设置视频监控系统，其中摄像头拟位于机房内东北角上方，显示器位于控制室内，控制室内工作人员能观察到机房防护门及污物通道防护门开闭情况。</p>
	6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。		<p>本项目 CT 模拟定位机房内仅放置和肿瘤定位相关的物品，DSA 机房内仅放置和手术相关的物品。</p>
	6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。		<p>各机房均拟设置机械通风设施，满足场所良好通风的要求。</p>
	6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。		<p>各机房所有防护门外均拟设电离辐射警告标志；防护门上方拟设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上拟设置可视警示语句；拟在外墙醒目位置设置放射防护注意事项告知栏。</p>
	6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。		<p>本项目 CT 模拟定位机房、DSA 机房的平开机房门均拟设置自动闭门装置，推拉式机房门均为自动延时闭门，同时制度中明确工作人员开始曝光前，必须确认机房所有防护门均在关闭状态；各机房门外均拟设置与防护门联锁的工</p>

标准号	标准要求	项目情况
		作状态指示灯。
	6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	本项目直线加速器机房、CT 模拟定位机房、DSA 机房的所有电动推拉式门拟设置红外线感应防夹装置。
	6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	直线加速器机房、DSA 机房均有专门的患者候诊区，均不在机房内候诊。一般情况，诊疗过程中机房内仅有患者和工作人员，其他人员不得进入。
	6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。	本项目 CT 模拟定位机房的防护设施分别按照 CT 的要求进行设置。
	6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。	CT 模拟定位机的摆放能利于操作者观察受检者。
	6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。	本项目射线装置均拟安装在机房中间，使机房防护门尽可能处于散射辐射相对低的位置。
6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求	6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。	拟按标准要求配置相应的辐射防护设施、用品，数量和铅当量均满足要求。具体配置设施数量和铅当量见表 10-4、10-5。
	6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。	
	6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。	
	6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。	拟加强个人防护用品管理，采用悬挂或平铺方式存放，不折叠。
7.1 一般要求	7.1.1 放射工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护和有关法律知识培训，满足放射工作人员岗位要求。	投运前，本项目工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护和有关法律知识培训，满足工作人员岗位要求。
	7.1.2 根据不同检查类型和需要，选择使用合适的设备、照射条件、照射野以及相应的防护用品。	本项目工作人员在手术过程中将根据患者及手术类型，使用合适的设备、照射条件、照射野以及相应的防护用品。

标准号	标准要求	项目情况
	7.1.3 合理选择各种操作参数，在确保达到预期诊断目标条件下，使受检者所受到的照射剂量最低。	本项目辐射工作人员在手术过程中合理选择参数使受检者所受到的照射剂量最低，医院拟制定相应管理制度进行管理。
	7.1.4 如设备具有儿童检查模式可选项时，对儿童实施检查时应使用该模式；如无儿童检查模式，应适当调整照射参数（如管电压、管电流、照射时间等），并严格限制照射野。	有儿童检查时，将调整适当的照射参数并严格限制照射野。
	7.1.5 X射线设备曝光时，应关闭与机房相通的门、窗。机房内射线装置曝光时，将关闭机房门窗。	机房内射线装置曝光时，将关闭机房门，医院拟制定相应管理制度进行管理。
	7.1.6 放射工作人员应按 GBZ128 的要求接受个人剂量监测。	辐射工作人员在工作过程中佩戴个人剂量计，且监测周期一般为 1 个月，最长不应超过 3 个月。
	7.1.8 不应使用加大摄影曝光条件的方法，提高过期胶片的显影效果不会使用加大摄影曝光条件的方法，提高过期胶片的显影效果。	不应使用加大摄影曝光条件的方法，为自动条件，数字显影，不使用胶片。
	7.1.9 工作人员应在有屏蔽的防护设施内进行曝光操作，并通过观察窗等密切观察受检者状态。	工作人员拟在有屏蔽的防护设施内进行曝光操作，并通过观察窗等密切观察受检者状态。
7.8介入放射学和近台同室操作(非普通荧光屏透视)用X射线设备操作的防护安全要求	7.8.2介入放射学用X射线设备应具有可准确记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。	设备具有可准确记录受检者剂量的装置，医院拟将每次介入手术后受检者受照剂量记录在病历中，需要时可追溯。
	7.8.3除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。	拟加强管理，图像采集时工作人员尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。
	7.8.4穿着防护服进行介入放射学操作的工作人员，其个人剂量计佩戴要求应符合GBZ128的规定。	医院拟为放射技师各配备1枚个人剂量计，拟为介入手术医生和护士在铅防护衣内外各配置1枚个人剂量计，满足要求。
	7.8.5C形臂X射线设备垂直方向透视时，球管应位于病人身体下方；水平方向透视时，工作人员可位于平板探测器一侧，同时注意避免有用线束直接照射。	拟制定操作规程及人员岗位职责，将球管旋转至病人身体下方，手术人员在操作过程中合理站位，避开有用线束。

标准号	标准要求		项目情况
GBZ128-2019	5.3剂量计的佩戴	5.3.2对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。	医院拟为放射技师各配备 1 枚个人剂量计，拟为介入手术医生和护士在铅防护衣内外各配置 1 枚个人剂量计，一枚佩戴在铅防护衣内，一枚佩戴在铅围裙外锁骨对应的领口位置。建议在工作人员身体可能受到较大照射的部位宜佩戴局部剂量计（如指环剂量计等）。
		5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计(如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等)。	

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段环境影响分析

本项目所涉及 X 射线设备的安装和调试均在各机房内进行，应注意设备安装、调试阶段的辐射防护管理，杜绝辐射事故。设备安装调试由专业人员负责，期间应加强辐射工作场所管理，调试期间不允许其他人员进入机房所在区域，设备安装完成后，医院及时回收包装材料交物资回收部门，不得随意丢弃。通过对施工现场严格管理等措施，可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。

11.2 运行阶段环境影响分析

11.2.1 屏蔽体屏蔽防护效能核算

11.2.1.1 医用电子直线加速器

(1) 辐射屏蔽的剂量参考控制水平估算

估算结果见本报告表 7-7。

(2) 屏蔽效能核算

根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源 (P95)，能量为 E (MeV) 的单能电子束，在低 Z 物质中的射程 (单位为 g/cm^2) 约为能量 (单位为 MeV) 的 0.6 倍。本项目直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 20MeV，射程为 $20 \times 0.6 = 12 \text{g}/\text{cm}^2$ ，可以估算出 20MeV 的电子在密度为 $2.35 \text{g}/\text{cm}^3$ 的混凝土中的深度约为 5.1cm，而本项目机房的屏蔽体厚度远大于 5.1cm 混凝土，电子线对于机房外的辐射影响是很小的，因此主要考虑直线加速器 X 射线影响。

①屏蔽体屏蔽效能核算公式

直线加速器机房墙体屏蔽核算采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011) 中的核算公式。

A、有效屏蔽厚度：

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad (11-1)$$

$$X = X_e \cdot \cos\theta \quad (11-2)$$

式中：X—屏蔽物质厚度；

X_e —有效屏蔽厚度；

θ —斜射角，即入射线与物质平面的法线的夹角。

B、屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (11-3)$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad (11-4)$$

式中：B—辐射屏蔽透射因子；

TVL₁—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度。

C、有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \quad (11-5)$$

$$\dot{H}_c = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (11-6)$$

式中： \dot{H}_c —参考点剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ （以 $\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ 为单位的值乘以 6×10^7 ）；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—对有用束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 10^{-3} 。

D、患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算：

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)} \quad (11-7)$$

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_c \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (11-8)$$

式中： \dot{H}_c —参考点剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。

E、加速器（ $\leq 10\text{MV}$ ）机房的迷路散射辐射计算：

本项目直线加速器为 10MV，有用线束不向迷路照射。根据 GBZ/T201.2-2011 中 4.3.2.5.1，迷路入口的散射辐射主要考虑有用线束照射在人体上的散射辐射。

机房入口处的散射辐射剂量率：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_o \quad (11-9)$$

式中： \dot{H}_g —入口处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子（见附录 B 表 B.2，通常取 45° 散射角的值）；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.6）的散射因子；

A—散射面积， m^2 ；

R_1 、 R_2 —折射距离，m；

\dot{H}_o —加速器距靶处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

防护门需要的屏蔽透射因子：

$$B = \frac{\dot{H}_c - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \quad (11-10)$$

式中： \dot{H}_{og} —入口处的漏射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_c —参考点剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_g —入口处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

防护门外的辐射剂量率：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{og} \quad (11-11)$$

式中： \dot{H}_{og} —入口处的漏射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_g —入口处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

X—屏蔽厚度，cm；

TVL—什值层，cm。

F、有用线束主屏蔽区宽度计算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007），主屏蔽宽度计算公式如下：

$$Y_p = 2[(SAD + a) \tan(\theta) + 0.3] \quad (11-12)$$

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD —源轴距，m，本项目为 1m；

a —等中心至墙面的距离，cm；

θ —治疗束的最大张角（相对束中的轴线），本项目为 14° 。

②应考虑辐射的关注点和核算条件

本项目医用电子直线加速器的有用线束不朝向迷路照射，计算各关注点示意图见图 11-1~11-2。由于 CBCT 相较于直线加速器 X 射线的能量很低，且直线加速器机房屏蔽体很厚，文中不再单独核算。

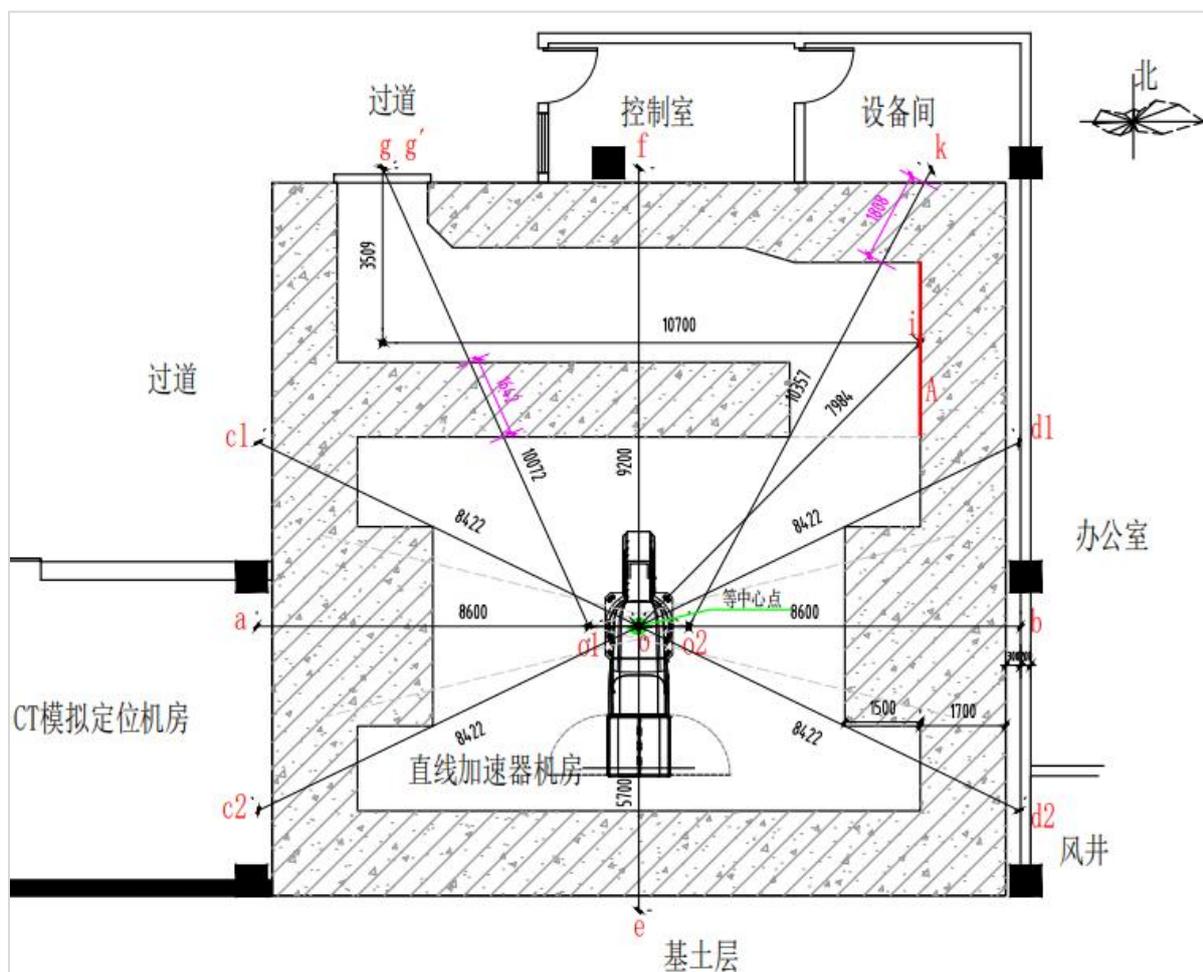


图 11-1 核算参考点示意图（平面图）

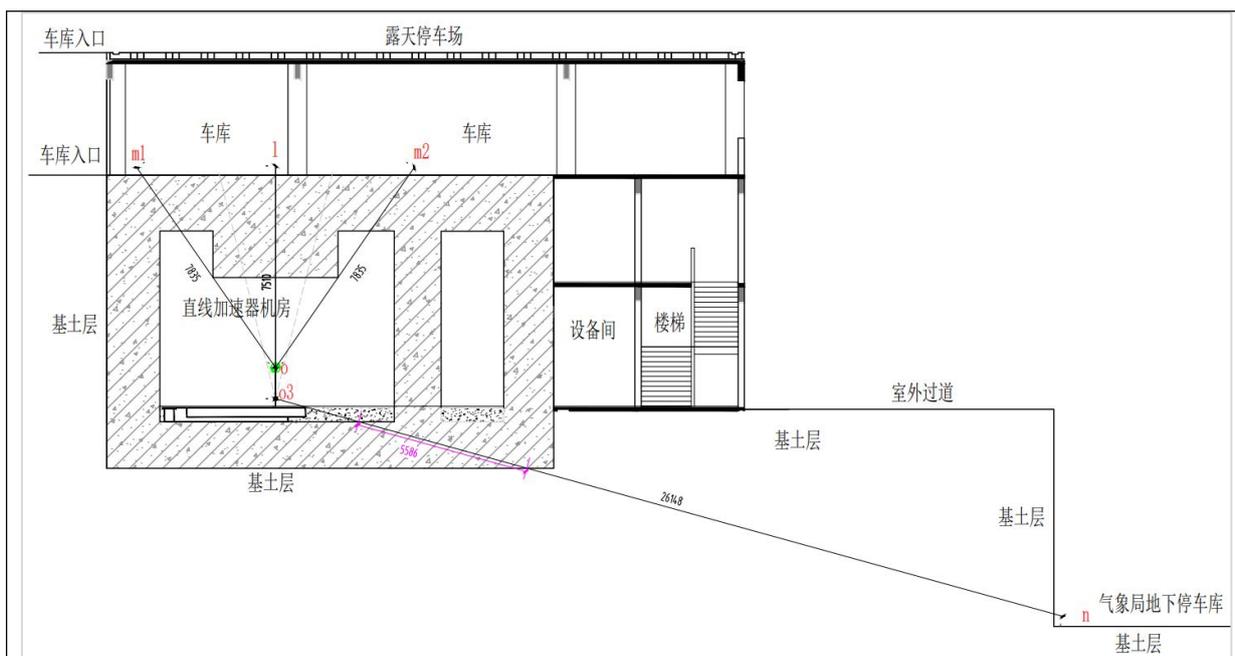


图 11-2 核算参考点示意图（剖面图）

③核算参数

综上所述，计算所用参数见表 11-1。

表 11-1 公式中涉及的参数取值

参数	单位	取值	取值依据
\dot{H}_c	$\mu\text{Sv/h}$	具体分项核算取值见表 7-7	HJ1198-2021、GBZ/T201.1-2007 等相关要求核算后保守取值。
\dot{H}_o	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	1.44×10^9	最大输出剂量率，2400cGy/min，Sv/Gy 转换系数取 1。
f	/	1	有用线束
		0.001	漏射线束
有用束 TVL ₁	cm	41	GBZ/T201.2-2011 表 B.1 查出（混凝土）
有用束 TVL	cm	37	GBZ/T201.2-2011 表 B.1 查出（混凝土）
90°漏射辐射 TVL ₁	cm	35	GBZ/T201.2-2011 表 B.1 查出（混凝土）
90°漏射辐射 TVL	cm	31	GBZ/T201.2-2011 表 B.1 查出（混凝土）
30°漏射辐射 TVL	cm	28	GBZ/T201.2-2011 表 B.4 查出（混凝土）
散射辐射 TVL	cm	0.5	GBZ/T201.2-2011 中 5.2.6.1 (d)（铅）
F	cm^2	1600	等中心点最大照射野面积，40cm×40cm
α_{ph} （计算与主屏蔽墙相连的次屏蔽墙）	/	3.18×10^{-3}	患者 400 cm^2 面积上的散射因子，GBZ/T201.2-2011 表 B.2，通常取 30°散射角的值
α_{ph} （计算防护门）	/	1.35×10^{-3}	患者 400 cm^2 面积上的散射因子，GBZ/T201.2-2011 表 B.2，通常取 45°散射角的值
α_2	/	2.2×10^{-3}	混凝土对 45°入射 0°散射辐射的散射因子（散射面积 10 ⁴ cm^2 ），见附录 B 表 B.6，取 0.5MeV 栏内的取值
A	m^2	19.78	散射面积（宽 3.5m×高 5.65m）

R	西侧	主屏蔽墙	m	8.6	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o2-a)
		次屏蔽墙	m	8.42	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o-c1/c2)
	东侧	主屏蔽墙	m	8.6	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o1-b)
		次屏蔽墙	m	8.42	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o-d1/d2)
	南侧	侧屏蔽墙	m	5.7	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o-e)
	北侧	迷路内墙 +外墙	m	9.2	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o-f)
		迷路外墙	m	10.36	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o2-k)
	迷路内墙		m	10.07	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o1-g)
	顶棚	主屏蔽墙	m	7.51	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o3-l)
		次屏蔽墙	m	7.84	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o-m1/m2)
	地板		m	26.15	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o3-n)
	防护门		m	7.98, 10.7+3.51= 14.21	屏蔽墙外 30cm 的距离 (o-i-g)

④屏蔽效能核实结果

根据 GBZ/T201.1-2007 中 4.3.6 可知，次级辐射屏蔽可能包含着泄漏辐射和散射辐射的复合作用。通常分别估计泄漏辐射和各项散射辐射，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层 (TVL) 或更大时，采用其中较厚的屏蔽；当相差不足一个 TVL 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层 (HVL) 厚度。根据什值层 (TVL) 和半值层 (HVL) 关系可知， $HVL=0.301TVL$ 。

直线加速器机房屏蔽墙屏蔽效能的核算结果见表 11-2。

表 11-2 直线加速器机房屏蔽墙屏蔽效能的核算结果表

墙体名称		关注点	射线类型		计算参数	屏蔽体厚度 (cm)		设计厚度下 周围剂量当 量率(μSv/h)		剂量控制 限值 (μSv/h)	是否 满足 要求
						计算	设计				
南侧	侧屏蔽墙	o-e	漏射		R=5.7m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =2.5μSv/h, f=0.001, TVL=31cm, TVL ₁ =35cm	136	170	0.20		2.5	满足
西侧	主屏蔽墙	o2-a	主射线		R=8.6m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =0.93μSv/h, f=1, TVL=37cm, TVL ₁ =41cm	275	320	0.06		0.93	满足
	次屏蔽墙	o-c1/c2	复合 辐射	散射 泄漏	R=8.42m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =0.68μSv/h, TVL=28cm, α _{ph} =3.18×10 ⁻³ , F=1600cm ² R=8.42m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =0.25μSv/h, f=0.001, TVL=31cm, TVL ₁ =35cm	135 135	135 170	0.03 0.01	0.04		满足
东侧	主屏蔽墙	o1-b	主射线		R=8.6m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =0.45μSv/h, f=1, TVL=37cm, TVL ₁ =41cm	287	320	0.06		0.45	满足
	次屏蔽墙	o-d1/d2	复合 辐射	散射 泄漏	R=8.42m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =0.32μSv/h, TVL=28cm, α _{ph} =3.18×10 ⁻³ , F=1600cm ² R=8.42m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =0.13μSv/h, f=0.001, TVL=31cm, TVL ₁ =35cm	143 143	143 170	0.03 0.01	0.04		满足
顶棚	主屏蔽墙	o3-l	主射线		R=7.51m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =2.5μSv/h, TVL ₁ =41cm, TVL=37cm	263	330	0.04		2.5	满足
	次屏蔽墙	o-m1/m2	复合 辐射	散射 泄漏	R=7.84m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =0.97Sv/h, TVL=28cm, α _{ph} =3.18×10 ⁻³ R=7.84m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =1.53μSv/h, f=0.001, TVL ₁ =35cm, TVL=31cm	133 116	142 180	0.01 0.01	0.02		满足
北侧	迷路内墙+外墙	o-f	漏射		R=9.2m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =2.5μSv/h, f=0.001, TVL ₁ =35cm, TVL=31cm	123	280	2.13E-05		2.5	满足
	迷路外墙	o2-k	漏射		R=10.36m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =2.5μSv/h, f=0.001, TVL ₁ =35cm, TVL=31cm	113	实际斜穿的混凝土厚度(180.8)	0.02		2.5	满足
	迷路内墙	o1-g	漏射		R=10.07m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =0.5μSv/h, f=0.001, TVL ₁ =35cm, TVL=31cm	142	实际斜穿的混凝土厚度(164.2)	0.10		0.5	满足

地板	o3-n	漏射	R=26.15m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =2.5μSv/h, f=0.001, TVL ₁ =35cm, TVL=31cm	95	实际斜穿的混凝土厚度(558.6)	2.71E-15	2.5	满足
----	------	----	---	----	-------------------	----------	-----	----

备注：①根据 GBZ/T201.1-2007 第 4.8.3 款相关要求，Sv/Gy 转换系数取 1。②核算屏蔽体所需厚度时，根据前文表 7-7 考虑。③括号里为有效屏蔽厚度。

根据上表可知，在现有设计条件下，直线加速器机房各屏蔽体外周围剂量当量率均满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 等的相关要求。直线加速器机房顶部外 0.3m 处的周围剂量当量率最大值为 0.04μSv/h，对外环境影响很小。因此，本次评价不考虑天空反射和侧向散射影响。

本项目直线加速器 X 射线能量等于 10MV，因此，机房入口不考虑中子屏蔽，有用线束不朝向迷路内墙照射，因此根据 GBZ/T 201.2-2011 中 4.3.2.5.1 项，机房入口 g 点处的辐射照射考虑如下几个方面：

- A、人体受有用线束照射时，散射至 i 点的辐射并再次受墙的二次散射至 g 处的辐射；
- B、至 i 点的泄漏辐射受墙散射至 g 处的辐射；
- C、有用线束穿出人体受主屏蔽墙的散射至迷路外墙再次散射，到达 g 处的辐射。

在估算 g 处的辐射剂量率时，以加速器不朝向迷路内墙方向水平照射时 A 项人体散射辐射作为以上三项之和的近似估计，通常可忽略 B、C 二项。直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果见表 11-3。

表 11-3 直线加速器机房防护门屏蔽效能核算结果表

屏蔽体	关注点	辐射类型	计算参数	屏蔽体厚度		设计厚度下周围剂量当量率(μSv/h)	剂量控制限值(μSv/h)	是否满足要求
				计算厚度	设计厚度			
防护门	o-i-g	患者散射辐射	R ₁ =7.98m, R ₂ =14.21m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =2.0μSv/h, A=19.78m ² , α _{ph} =1.35×10 ⁻³ , α ₂ =2.2×10 ⁻² , F=1600cm ² , TVL _铅 =5mm	11mmPb	15mmPb	0.26	2.5	满足
防护门上方穿墙点	g'	患者散射辐射	R ₁ =7.98m, R ₂ =14.21m, H ₀ =1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h, H _C =2.0μSv/h, A=19.78m ² , α _{ph} =1.35×10 ⁻³ , α ₂ =2.2×10 ⁻² , F=1600cm ² , TVL _铅 =5mm, TVL=28cm	400mm 混凝土+4mmPb	400mm 混凝土+5mmPb	0.98	2.5	满足

备注：g'表示防护门上方穿墙处关注点；g'核算的相关距离简化为水平距离。

根据上表可知，在现有设计条件下，直线加速器机房防护门外周围剂量率、迷路外通风管道穿墙孔处周围剂量当量率均满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的相关要求。

直线加速器机房主屏蔽墙宽度核算结果见表 11-4。

表 11-4 直线加速器机房主屏蔽宽度核算结果表

机房名称	屏蔽体	类别	计算参数	计算宽度 (m)	设计宽度 (m)	是否满足要求
直线加速器 机房	西墙	主屏蔽宽度	SAD=1m, a=5.6m, $\theta=14^\circ$	3.9	4.0	满足
	东墙	主屏蔽宽度	SAD=1m, a=5.6m, $\theta=14^\circ$	3.9	4.0	满足
	顶棚	主屏蔽宽度	SAD=1m, a=4.41m, $\theta=14^\circ$	3.3	4.0	满足

根据上表可知，在现有设计条件下，直线加速器机房主屏蔽宽度能够满足相关要求。

11.2.1.2 CT 模拟定位机

(1) 屏蔽效能核算

①核算公式

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中附录C中C.1.2所列方法和公式核算不同屏蔽物质的铅当量。

A、对给定的铅厚度的屏蔽透射因子B按下式核算：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (11-13)$$

式中：B——给定铅的屏蔽透射因子；

β ——铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

α ——铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ ——铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X——铅厚度。

B、在给出透射因子B的情况下，使用下式计算出各屏蔽物质的铅当量厚度X：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left[\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right] \quad (11-14)$$

式中：X——不同屏蔽物质的铅当量厚度；其余同上。

②核算结果

CT 模拟定位机房屏蔽体的铅当量核算结果见表 11-5。

表 11-5 CT 模拟定位机房屏蔽厚度核算对比表

机房名称	屏蔽防护体	屏蔽防护设计	折合铅当量 (mmPb)	标准要求 (mmPb)	是否满足要求
CT 模拟定位机房	北、西墙体	370mm 实心砖	3.16	2.5	满足
	南墙体	300mm 混凝土	3.79		满足
	东墙体	1700mm 混凝土	27.14		满足
	顶棚	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	3.32		满足
	防护门、观察窗	4.0mmPb	4		满足

注：①混凝土、实心砖折算铅当量依据 GBZ 130-2020 标准附录 C；②硫酸钡水泥折算铅当量依据辐射防护手册（第三分册）辐射安全中表 3.3 插值法取得。

根据上表核算和对比分析，本项目 CT 模拟定位机房屏蔽体的屏蔽能力均能满足《放

射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

（2）屏蔽体外剂量率核算

①核算公式

本项目涉及 1 台 CT 模拟定位机，CT 模拟定位机的影响以散射线为主，因此机房外剂量率均以散射计算。

根据《辐射防护导论》（原子能出版社）第三章第三节（P116-P117）散射线的屏蔽计算公式（3.66）进行推导得出，按最不利情况考虑居留因子取 1，管电压修正系数取 1，推导得出本项目关注点的散射辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{I \times H_0 \times B}{R_s^2} \times \frac{F \times \alpha}{R_0^2} \quad (11-15)$$

式中：I—X 射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H_0 —距辐射源点（靶点）1 m 处输出量， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ，以 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 为单位的值乘以 6×10^4 ，Sv/Gy 转换系数取值为 1；

B—屏蔽透射因子；

F— R_0 处的辐射野面积，CT 扫描采用窄束，射线装置运行时的最大照射野面积为 50cm^2 （ $50\text{cm}\times 1\text{cm}$ ）；

α —散射因子，入射辐射被单位面积（ 1cm^2 ）散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比；根据 NCRP147 号报告第 137 页附图 C.1，140kV 散射系数最大约为 7.62×10^{-6} ；

R_s —辐射源点（靶点）至散射体的距离，单位为米（m），根据设备参数，本项目取 0.60m；

R_0 —散射体至关注点的距离，单位为米（m），根据设备布设位置确定。

②关注点

以机房为中心，核算四面墙体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率，见图 11-3。

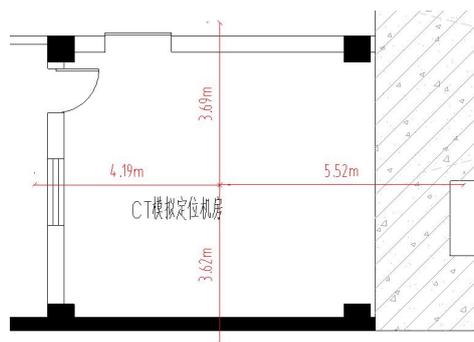


图11-3 计算点距离示意图

③核算参数

本项目 CT 模拟定位机常用最大电压为 120kV，最大运行电流约 300mA；设备在 120kV、3mmAl 过滤板情况下主射线方向 1m 处发射率为 9.0mGy·m²/mA·min。

④核算结果

根据核算公式，CT 模拟定位机房外周围剂量当量率核算结果见表 11-6。

表 11-6 CT 模拟定位机房屏蔽体外剂量率核算结果表

机房名称	屏蔽体名称		距离 R(m)	防护设计厚度	周围剂量当量率 (μSv/h)	是否满足要求
CT 模拟定位机房	北墙	墙体	3.69	370mm 实心砖	1.06	满足
		防护门	3.69	4.0mmPb	0.16	满足
	西墙	墙体	4.19	370mm 实心砖	0.82	满足
		防护门、观察窗	4.19	4.0mmPb	0.12	满足
	南墙	墙体	3.62	300mm 混凝土	0.26	满足
	东墙	墙体	5.52	1700mm 混凝土	1.87×10 ⁻²⁴	满足
	顶棚		4.00	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	0.62	满足

备注：设备离地高度按 1.0m 考虑，顶棚核算到楼上地面 1.0m 处，机房所在楼层层高为 4.0m。

由上表核算结果可知，CT 模拟定位机房屏蔽体外 30cm 的周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

11.2.1.3 DSA 装置

(1) DSA 机房屏蔽能力核算

①核算公式

核算公式与CT模拟定位机房屏蔽防护计算公式一致。

②参数取值

根据 DSA 工作原理及工作方式可知，DSA 的辐射场由三种射线组成：主射线、散射射线、漏射线。根据 NCRP147 号报告“Examples of Shielding Calculations” 5.1 节（P72）指出，DSA 屏蔽估算时不需要考虑主束照射。根据 NCRP147 号报告第 138 页 C.2 可知，DSA 的漏射线剂量率很小（一般不大于 1mGy/h）。因此，在屏蔽防护时主要考虑非有用线束的影响，而 90°非有用线束的影响最大，因此本评价以 90°非有用线束屏蔽厚度要求作为核算依据。本项目 DSA 最大管电压为 125kV，对于顶板和地板查《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 C.2 混凝土拟合参数进行核算。

③核算结果

根据建设单位提供的屏蔽防护方案，DSA 机房屏蔽体的铅当量核算结果见表 11-7。

表 11-7 DSA 机房屏蔽体的铅当量核算

机房名称	屏蔽防护体	屏蔽防护设计	折合铅当量(mmPb)	标准要求(mmPb)	是否满足要求
DSA 机房	四面墙体	3mmPb	3	2	满足
	机房顶棚、地板	150mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	3.65	2	满足
	防护门、观察窗	3mmPb	3	2	满足

注：①混凝土折算铅当量依据 GBZ 130-2020 标准附录 C；②硫酸钡水泥折算铅当量依据辐射防护手册（第三分册）辐射安全中表 3.3 插值法取得；③以上折合铅当量均按 DSA 装置最大管电压 125kV 进行核算。

根据上表核算结果可知，本项目 DSA 机房屏蔽能力能符合 GBZ130-2020 标准的相关规定要求。

(2) DSA 机房屏蔽体外剂量率核算

①核算公式

核算公式与CT模拟定位机房屏蔽防护计算公式一致。

②核算参数

DSA装置存在透视及采集两种工况，本次评价按照透视常用工况及采集常用工况分别计算DSA机房墙体外周围剂量当量率。DSA装置常用透视工况为60~90kV/5~20mA，常用采集工况为60~90kV/300~500mA。本报告保守估算，透视工况按照常用最大90kV、20mA进行计算；采集工况按照常用最大90kV、500mA进行计算。DSA装置在90kV、3mmAl过滤板情况下主射线方向1m处发射率为5.3mGy·m²/mA·min。Sv/Gy转换系数取值为1。

根据NCRP147号报告第137页附图C.1，125kV射线装置1m处的每平方厘米的散射系数为7.38×10⁻⁶，90kV射线装置1m处的每平方厘米的散射系数为6.82×10⁻⁶；DSA装置运行时的最大照射野面积为400cm²（200mm×200mm），辐射源点（靶点）至散射体的距离取0.38m。

相关参数详见表11-8。

表11-8 核算参数表

设备名称	管电压(kV)	对应管电流 I (mA)	输出量H ₀ μSv·m ² /(mA·h)	散射面积 F (cm ²)	散射因子 α	散射距离 R _s (m)	关注点距离R ₀
DSA 装置	90	20 (透视) 500 (采集)	3.18×10 ⁵	400	6.82×10 ⁻⁶	0.38	根据设备布置位置确定
90kV拟合参数			铅 α: 3.067	β: 18.83	γ: 0.7726		

X射线管头位置根据厂家设备布置图进行机房外关注点距离取值，各计算点距离见图11-4和图11-5所示。

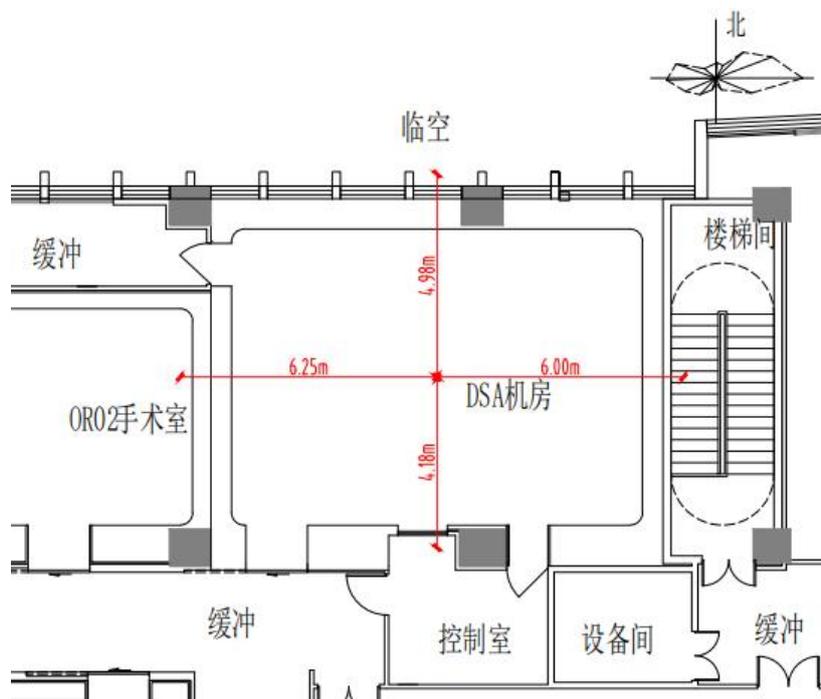


图11-4 各计算点距离示意图

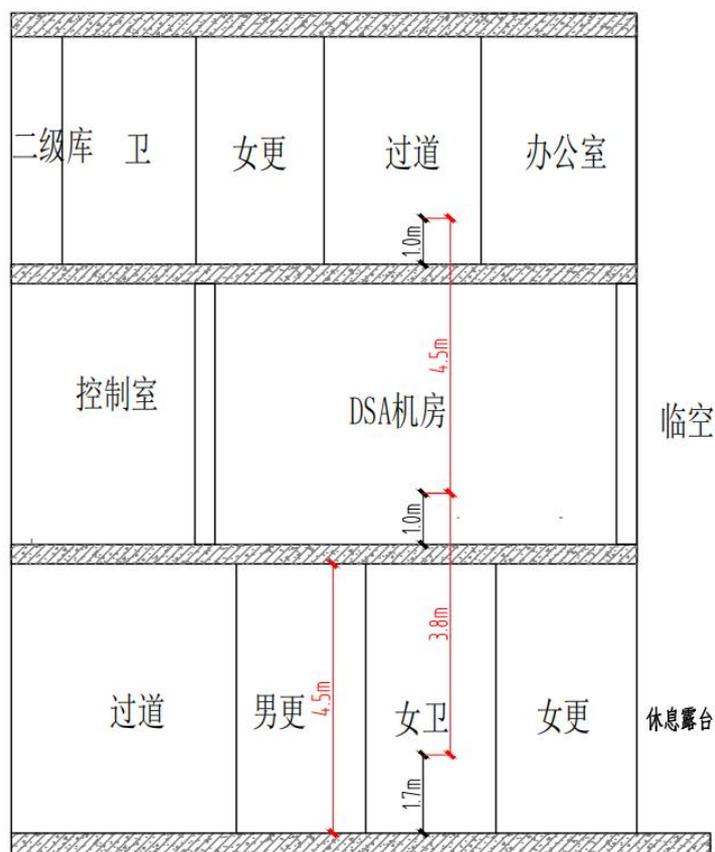


图 11-5 本项目剖面计算点位图

(3) 核算结果

根据核算公式和表11-8相关参数，在透视、采集状态下，DSA机房外周围剂量当量率核算结果见表11-9所示。

表11-9 DSA机房外周围剂量当量率核算结果

关注点	屏蔽体	射线类型	距离R (m)	屏蔽材料及厚度	周围剂量当量率 (μSv/h)		建设厚度是否满足要求
					透视	采集	
北侧 (临空)	墙体	散射	4.98	3mmPb	0.04	0.96	是
西侧 (OR02手术室、缓冲)	墙体	散射	6.25	3mmPb	0.02	0.61	是
	铅门	散射		3mmPb	0.02	0.61	是
南侧 (缓冲、控制室、设备间)	墙体	散射	4.18	3mmPb	0.05	1.36	是
	铅门	散射		3mmPb	0.05	1.36	是
	铅窗	散射		3mmPb	0.05	1.36	是
东侧 (楼梯间)	墙体	散射	6.00	3mmPb	0.03	0.66	是
顶棚 (值班休息、办公室、主任办、审方打印、过道、男更、女更)	楼板	散射	4.5	150mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	6.41×10^{-3}	0.16	是
地板 (女更、女卫、男更、过道)	楼板	散射	3.8	150mm 混凝土+20mm 硫酸钡水泥	6.41×10^{-3}	0.22	是

备注：①DSA 机房所在楼层层高为 4.5m，DSA 机房所在楼层楼下层高为 4.5m；顶板核算到距离楼上地面 1.0m 处，地板核算到距离楼下地面 1.7m 处；四周屏蔽体计算参考点位于四周屏蔽体、门窗外 0.3m 处。②球管离地高度按 1.0m 考虑；③同侧距离核算时保守取最短距离。

根据计算可知，在透视和采集条件下，DSA机房屏蔽体外30cm的周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

11.3 剂量估算

11.3.1 剂量估算公式

X-γ射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{Er}=H^*_{(10)} \times t \times 10^{-3} \quad (11-16)$$

式中： H_{Er} ：X或γ射线外照射人均年有效剂量，mSv；

$H^*_{(10)}$ ：X或γ射线周围剂量当量率，μSv/h；

t：X或γ射线照射时间，h。

11.3.2 个人剂量估算及环境保护目标影响分析

(1) 医用电子直线加速器和 CT 模拟定位机

①辐射工作人员

辐射工作人员在控制室内工作，辐射工作人员年有效剂量估算结果见表 11-10。

表 11-10 辐射工作人员年有效剂量估算表

工作场所	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	照射时间 (h/a)	年有效剂量 (mSv/a)
直线加速器机房	2.13×10^{-5}	1000	2.13×10^{-5}
CT 模拟定位机	0.82	40	0.03

根据上表可知，辐射工作人员受到的年附加有效剂量小于项目的年有效剂量管理目标值 5.0mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。

②公众成员

机房外公众成员受到的年有效剂量见表 11-11。

表 11-11 环境保护目标处公众成员周围剂量当量率预测结果表

序号	名称	方位	最小水平距离 (m)	环境保护目标处预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	出束时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
直线加速器机房							
1	过道	北侧至西侧	约 0	0.26	1000	1/5	0.05
2	楼梯间	北侧	约 3	0.16	1000	1/40	4.09×10^{-3}
3	院内道路	北侧至西侧	约 6	0.09	1000	1/40	2.35×10^{-3}
4	消防水泵房	北侧至西北侧	约 18	3.54×10^{-2}	1000	1/40	8.86×10^{-4}
5	医废暂存间	北侧	约 18	3.54×10^{-2}	1000	1/20	1.77×10^{-3}
6	传染楼	北侧至西北侧	约 24	2.41×10^{-2}	1000	1	2.41×10^{-2}
7	发热门诊 CT 机房及楼下设备机房 (拟拆除)	北侧	约 46	8.88×10^{-3}	1000	1/2	4.44×10^{-3}
8	CT 模拟定位机房	西侧	约 0	0.06	1000	1/2	0.03
9	CT 模拟定位机房控制室、计划室、物理室、制模室、护士站、阅片/医生办公室等放疗辅助用房	西侧	约 7	0.02	1000	1	0.02
10	水井、门厅、强电、弱电、楼梯间、处置室、清洁间、卫生间等	西侧	约 18	6.00×10^{-3}	1000	1/40	1.50×10^{-4}
11	诊室	西侧	约 27	3.33×10^{-3}	1000	1	3.33×10^{-3}
12	支马路	西侧至东北侧	约 0	0.06	1000	1/40	1.40×10^{-3}

13	凤山街道城东村凉子脚组居民楼及空坝	西侧至西南侧	约 18	6.00×10^{-3}	1000	1	0.01
14	林地	西南侧至东南侧	约 6	0.05	1000	1/40	1.22×10^{-3}
15	办公室	东北侧至东侧	约 0	0.06	1000	1	0.06
16	气象局办公楼	东北侧至东南侧	约 13	9.143×10^{-3}	1000	1	0.01
17	气象局门卫亭	东北侧	约 16	2.64×10^{-3}	1000	1	2.64×10^{-3}
18	气象局露天停车坝及地下停车库	东北侧	约 16	2.64×10^{-3}	1000	1/40	6.61×10^{-5}
19	凤山街道城东村凉子脚组居民楼	东北侧	约 43	6.37×10^{-4}	1000	1	6.37×10^{-4}
20	直线加速器楼(3F~楼顶)	楼上(正上方)	/	0.04	1000	1	0.04
21	直线加速器楼(2F~楼顶)	楼上(斜上方)	/	0.06	1000	1	0.06
CT 模拟定位机房							
1	过道	北侧	约 0	1.06	40	1/5	0.01
2	阅片、医生办公室	北侧至西北侧	约 3	0.35	40	1	0.01
3	院内道路	东北侧至西北侧	约 7	0.13	40	1/40	1.33×10^{-4}
4	消防水泵房	东北侧至西北侧	约 25	0.02	40	1/40	1.78×10^{-5}
5	医废暂存间	东北侧	约 26	0.02	40	1/20	3.33×10^{-5}
6	传染楼	北侧至西北侧	约 34	0.01	40	1	4.11×10^{-4}
7	阅片/医生办公室、计划室、物理室、制模室、护士站等	北侧至西南侧	约 2	0.49	40	1	0.02
8	水井、门厅、强电、弱电、楼梯间、处置室、清洁间、卫生间等	西北侧至西南侧	约 10	0.07	40	1/40	7.45×10^{-5}
9	诊室	西北侧	约 20	0.03	40	1	1.01×10^{-3}
10	支马路	西侧至东北侧	约 0	0.82	40	1/40	8.19×10^{-4}
11	凤山街道城东村凉子脚组居民楼及空坝	西北侧至西南侧	约 14	0.04	40	1	1.80×10^{-3}
12	林地	西南侧至东南侧	约 6	0.15	40	1/40	1.47×10^{-4}

13	直线加速器机房	东北侧至东侧	约 0	1.06	40	1	0.04
14	办公室	东北侧至东侧	约 15	0.04	40	1	1.70×10^{-3}
15	气象局办公楼	东北侧至东南侧	约 27	0.02	40	1	6.22×10^{-4}
16	气象局门卫亭	东北侧	约 32	0.01	40	1	4.59×10^{-4}
17	气象局露天停车场及地下停车库	东北侧	约 32	0.01	40	1	4.59×10^{-4}
18	直线加速器楼(2F~楼顶)	楼上(正上方)	/	0.38	40	1	0.02
19	过道	北侧	约 0	1.06	40	1/5	0.01
20	阅片、医生办公室	北侧至西北侧	约 3	0.35	40	1	0.01
21	院内道路	东北侧至西北侧	约 7	0.13	40	1/40	1.33×10^{-4}

根据估算可知，本项目医用电子直线加速器和 CT 模拟定位机影响下的周围公众成员受到的附加年有效剂量最大为 0.08 (0.06+0.02) mSv/a，小于本项目的年剂量约束值 0.1mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。

(2) DSA 装置

① 辐射工作人员

根据医院提供的资料，本项目 DSA 年透视时间共约 341.67h，采集时间约 21.69h，总年有效开机时间约 363.36h。

A、控制室辐射工作人员有效剂量估算

在透视和采集情况下，控制室辐射工作人员有效剂量估算见表 11-12。

表 11-12 控制室辐射工作人员有效剂量估算一览表

设备名称	控制室最大周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		年出束时间 (h)		年有效剂量 (mSv/a)		总年有效剂量 (mSv/a)
	透视	采集	透视	采集	透视	采集	
DSA 装置	0.05	1.36	341.67	21.69	0.02	0.03	0.05

根据上表可知，从最不利情况考虑，本项目 DSA 机房控制室的工作由 1 名技师完成，本项目拟配备技师同时操作医院其他 X 射线设备，根据医院提供的资料可知，医院现有辐射工作人员 2024 年度有效剂量在 0.20~2.37mSv/a 之间，叠加 2024 年度辐射工作人员个人剂量监测结果和本项目年有效剂量的预测结果不超过 2.42mSv，满足本项目辐射工作人员年有效剂量管理目标值 5mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求。

B、手术医护人员

本项目DSA装置有采集和透视两种工作模式。

透视工作模式下，医护人员均穿戴个人防护设施（考虑铅当量0.5mmPb），以公式11-13计算其透射因子，不考虑射线与手术医护人员的距离衰减因素，同时，参照《医用X射线诊断设备质量控制检测规范》（WS 76-2020）表B.1规定：透视防护区检测平面上的周围剂量当量率不应大于400μSv/h。核算常用电压条件下手术医护人员受照剂量。

采集工作模式下，考虑医护人员全部在机房铅屏风后操作，医护人员均穿戴个人防护设施（考虑铅当量 0.5mmPb），并在移动铅屏风（考虑铅当量 2mmPb）后操作，以公式 11-13 计算其透射因子，考虑射线与手术医护人员的距离衰减因素最近为 1m，核算常用电压条件下手术医护人员受照剂量。计算结果见表 11-13 所示。

表11-13 机房医护人员最大手术负荷时间表

运行管电压	透射因子		手术人员铅衣内周围剂量当量率 (μSv/h)	手术类型	年出束时间 (h)	年有效剂量估算 (mSv/a)
90kV	透视	2.52×10 ⁻²	10.06	心脏介入	166.67	1.68
			10.06	神经介入	35.00	0.35
			10.06	综合介入	140.00	1.41
	采集	3.68×10 ⁻⁵	110.68	心脏介入	5.58	0.62
			110.68	神经介入	2.78	0.31
			110.68	综合介入	13.33	1.48
运行管电压	透射因子		手术人员铅衣外周围剂量当量率 (μSv/h)	手术类型	年出束时间 (h)	年有效剂量估算 (mSv/a)
90kV	透视	/	400	心脏介入	166.67	66.67
			400	神经介入	35.00	14.00
			400	综合介入	140.00	56.00
	采集	1.72×10 ⁻⁴	516.44	心脏介入	5.58	2.88
			516.44	神经介入	2.78	1.44
			516.44	综合介入	13.33	6.88

备注：采集时医生均有可能在机房内，故按照最不利情况进行核算，核算考虑采集时间。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中6.2.4佩戴铅围裙内外两个剂量计时，宜采用式（11-17）估算有效剂量：

$$E=\alpha H_u+\beta H_o \quad (11-17)$$

其中：E-有效剂量中的外照射分量，单位为 mSv；

α -系数，有甲状腺屏蔽时，取0.79，无屏蔽时，取0.84；

H_u -铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为mSv；

β -系数，有甲状腺屏蔽时，取0.051，无屏蔽时，取0.1；

H_o -铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为mSv。

根据医院提供资料，结合实际情况考虑，医院介入手术拟配备手术医生20人共10组（其中心脏介入手术医生4组，神经介入手术医生2组，综合介入手术医生4组），仅在各DSA机房工作。

则： $E(\text{心脏介入}) = (0.79 \times (1.68 + 0.62) + 0.051 \times (66.67 + 2.88)) / 4 = 1.34 \text{mSv}$

$E(\text{神经介入}) = (0.79 \times (0.35 + 0.31) + 0.051 \times (14.00 + 1.44)) / 2 = 0.65 \text{mSv}$

$E(\text{综合介入}) = (0.79 \times (1.41 + 1.48) + 0.051 \times (56.00 + 6.88)) / 4 = 1.37 \text{mSv}$

根据医院提供的人员配置情况结合年有效剂量估算结果可知，本项目拟配置的辐射工作人员数量满足要求，在合理分配手术量的情况下，医护人员受到的辐射剂量能满足本项目放射工作人员年有效剂量管理目标限值5mSv/a和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

根据医院提供的资料可知，医院目前已投运1台DSA，考虑最不利情况下，本项目拟配备20名手术医生将参与2台DSA介入手术工作。医院现有辐射工作人员2024年度有效剂量在0.20~2.37mSv/a之间，叠加2024年度辐射工作人员个人剂量监测结果和本项目年有效剂量的预测结果不超过3.74mSv，也满足本项目辐射工作人员年有效剂量管理目标值5mSv/a和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

上述估算中透视是按照透视防护区测试平面上的周围剂量当量率不大于400 $\mu\text{Sv/h}$ 、0.5mmPb铅防护用品计算的，采集是按照移动铅屏风2mmPb、距离1m，以及0.5mmPb铅防护用品计算的。实际手术过程中，手术医生受到的照射剂量与铅悬挂防护屏设置位置、铅防护用品质量、手术医生的手术熟练度、习惯、移动铅屏风的厚度及位置等相关。医院介入手术医生2024年度个人剂量监测结果不一定是最大工作负荷下辐射工作人员所受有效剂量，因此，介入手术医生实际受到的年有效剂量应以个人剂量计监测结果为准，医院应根据最大手术工作时间以及每周期的个人剂量监测结果，对手术医生手术数量进行控制，若出现个人剂量超过管理目标值的情况应及时降低其手术数量，以确保辐射安全。

另外，医院还应采取以下措施确保辐射安全：

A、要求从事介入手术人员在实际工作中，应正确佩戴个人剂量计，介入手术医生应在防护铅衣内外各佩戴1枚个人剂量计；

B、医院应定期对个人剂量计进行监测，根据监测报告结果，合理分配工作量，正确有效使用防护用品。当职业照射受照剂量大于调查水平时，除记录个人监测的剂量结果外，并作进一步调查。标准建议的年调查水平为有效剂量5mSv，单周期的调查水平为5mSv/（年监测周期数）；

C、医院根据需要补充介入手术人员指环和眼部剂量计。

②公众成员

机房外公众成员受到的年有效剂量见表11-14。

表11-14 环境保护目标处公众成员周围剂量当量率预测结果表

序号	名称	方位	最小水平距离 (m)	保护目标周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		出束时间 (h)		居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
				透视	采集	透视	采集		
1	前厅	东北侧至西北侧	约 0	0.04	0.96	341.67	21.69	1/5	6.80×10^{-3}
2	院内道路	东北侧至西南侧	约 6	0.01	0.24	341.67	21.69	1/40	2.16×10^{-4}
3	建设东路、南城中央广场前广场等	东北侧至西北侧	约 26	1.01×10^{-3}	0.03	341.67	21.69	1/40	2.24×10^{-5}
4	下穿马路	西北侧	约 34	6.37×10^{-4}	0.02	341.67	21.69	1/40	1.41×10^{-5}
5	缓冲（污物通道）、OR02 手术室	西侧	约 0	0.02	0.61	341.67	21.69	1	0.02
6	过道、合用前室、电梯间、楼梯间等	西侧	约 10	3.75×10^{-3}	0.09	341.67	21.69	1/5	6.62×10^{-4}
7	OR03 手术室、缓冲、洁具间、避难间、OR04 手术室、OR05 手术室等	西南侧	约 0	0.05	1.36	341.67	21.69	1	0.05
8	缓冲（洁净过道）、设备间	南侧	约 0	0.05	1.36	341.67	21.69	1/5	9.65×10^{-3}
9	洁净过道、戊类库房、谈话间、麻醉/复苏、医	南侧	约 0	0.05	1.36	341.67	21.69	1	0.05

	护通道、隔离前室、OR11手术室等								
10	停车楼车库	南侧至东南侧	约 45	3.99×10^{-4}	0.01	341.67	21.69	1/40	8.82×10^{-6}
11	缓冲（洁净过道）、戊类库房、家属等候区、临时休息室、前室、楼梯间、电梯间、女卫生间、男卫生间等	东南侧	约 4	0.02	0.38	341.67	21.69	1	0.01
12	楼梯间、术间休息、卫生间、杂物间、电梯检修机房等	西侧	约 0	0.02	0.61	341.67	21.69	1	0.02
13	医技楼、门急救综合大楼	西侧	约 10	3.75×10^{-3}	0.09	341.67	21.69	1	3.31×10^{-3}
14	内科综合楼（11F~楼顶）	楼上	/	6.41×10^{-3}	0.16	341.67	21.69	1	5.66×10^{-3}
15	内科综合楼（-2F~9F）	楼下	/	8.99×10^{-3}	0.22	341.67	21.69	1	7.94×10^{-3}
注：①同一处的环境保护目标的年有效剂量估算均以最近的距离进行计算，故更远的环境保护目标年有效剂量将更小；②居留因子参照 NCRP147 号报告 P31 表 4.1 取值；③表格中所述最小距离为关注点到 DSA 机房墙体外的距离；④按水平距离进行保守计算，未考虑高差。									

根据上表核算，机房外公众成员受到的年有效剂量最大为0.05mSv，低于医院年剂量管理目标值0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求。

（3）环境保护目标辐射环境影响分析

拟建机房的屏蔽防护能力能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，各关注点周围剂量当量率满足国家相关标准要求。本项目环境保护目标主要受射线装置运行时产生的电离辐射（X射线）影响。根据X射线衰减主要包括距离的衰减（与传播距离平方成反比）和物质吸收的衰减，若同时考虑距离及物质吸收衰减因素，距离机房越远，辐射剂量率越低，则距离机房更远处的公众人员受照剂量不会大于上述保守预测值。根据表11-11、表11-14可知，机房外50m评价范围内各环境保护目标位置的年有效剂量均远低于医院管理目标值。因此，项目所致机房外50m评价范围内环境保护目标的影响甚微，本项目对周围各环境保护目标不会带来不利影响，对环境的影响可以接受。

11.4 放射性“三废”环境影响分析

本项目不产生放射性废气、废水及固废。

11.5 非放射性“三废”环境影响分析

11.5.1 废水

本项目各机房产生的少量废水经医院污水管网收集至内科综合楼-2F规划埋地式污水处理站（设计处理能力800m³/d），处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）预处理排放标准后，依托医院总排放口至武隆区污水处理厂处理，达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A级标准后外排乌江，不会对周围环境产生影响。

11.5.2 固体废物

本项目内科综合楼10F拟设置DSA污物清洗、打包间，介入手术产生的医疗废物在DSA机房收集后于内科综合楼10F DSA污物清洗打包间内清理、消毒、打包、临时暂存，当天运至停车楼-1F规划医疗废物贮存点（58.85m²），医疗废物贮存点按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）进行防渗、防腐、硬化处理；医疗废物定期交由有资质的单位处理。

内科综合楼产生的生活垃圾暂存于停车楼-2F规划生活垃圾暂存处（建筑面积58.85m²），交由市政环卫部门统一收运处理；直线加速器楼设置足够数量的生活垃圾桶，每日清理，交由市政环卫部门统一收运处理。

加速器机头更换组件由厂家或维修单位按相关规定进行处理；报废的DSA和直线加速器CBCT按照要求对其装置内的X射线管进行去功能化，做好相关记录存档。

本项目拟配置的铅衣、铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽、铅防护眼镜、介入防护手套等含铅防护用品，在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后由医院收集妥善保存。

本项目产生的固体废物均能得到合理的处理，不会对环境产生影响。

11.5.3 废气

本项目放疗中心直线加速器机房及CT定位模拟机房产生产废气各设置1套排风系统，废气经排风管道至直线加速器楼东侧依托直线加速器楼排风井引至楼顶排放；DSA机房拟设置独立机械排风系统，废气经排风管道引至同层北侧墙体室外排放；排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。因此，X射线装置运行产生的废气对周围环境影响小。

此处重点分析医用电子直线加速器运行时产生的废气影响。

根据文献《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994年4月第14卷第2期），考虑放射治疗机房运行时的连续排风和O₃的分解，机房内空气中O₃的平均浓度可由下式计算。

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (11-18)$$

式中：Q(t)为t时刻机房内O₃的平均浓度，mg/m³；

Q₀为O₃的产生率，mg/h；

V为加速器机房体积（不含迷道），m³；

T为有效清除时间，h。

有效清除时间T可由下式计算。

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (11-19)$$

式中：t_v为换气一次所需要的时间，h；

t_d为O₃的有效分解时间，取0.83h。

因本项目放射治疗设备运行单次后，需要转移病人，给下一位病人准备等，不是连续出束，因此，本次核算考虑单次治疗产生的臭氧在设计通风情况下机房内的臭氧浓度。各参数的取值和O₃浓度的计算结果见表11-15。

表11-15 直线加速器机房内O₃浓度计算结果

机房	Q ₀ (mg/h)	V (m ³)	t _v (h)	t _d (h)	T (h)	t (h)	Q(t) (mg/m ³)
直线加速器机房	97.2	390	0.06	0.83	0.05	0.017	<0.01

由计算结果可知，单次治疗后，直线加速度机房产生的臭氧浓度<0.01mg/m³，低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中规定的臭氧浓度限值0.3mg/m³，也低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准中规定的臭氧1小时平均限值0.2mg/m³。

单次治疗后，直线加速度机房产生的氮氧化物浓度分别为<0.01mg/m³，远低于GBZ2.1-2019中规定的5mg/m³，也远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准中规定的二氧化氮1小时平均限值0.2mg/m³。

根据通风设计方案，本项目直线加速度机房排风量约为6820m³/h，通风换气次数最少约为17次/h，满足HJ1198-2021《放射治疗辐射安全与防护要求》和GBZ121-2020《放

射治疗放射防护要求》中通风换气次数应不小于4次/h的要求。

综上，本项目直线加速器机房设置有排风系统，将臭氧、氮氧化物废气经排风管道至直线加速器机房西侧依托直线加速器楼排风井引至楼顶排放，排放浓度远低于环境空气质量标准的限值要求，排放后废气经大气扩散和分解，不累积，浓度将进一步降低，对周围环境影响小。

11.6 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

射线装置对疾病诊断和手术辅助方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命可起到十分重要的作用。项目将为患者提供更多医疗服务和便捷的就医条件，具有明显的社会效益；随着医院医疗技术以及服务水平的提高，将吸引更多的就诊人员，医院在为患者健康服务的同时也将创造更大的经济效益。项目拟采取的辐射安全与防护措施符合要求，对环境的影响也在可接受范围内。在项目营运过程中建设单位应掌握好适应症，正确合理地使用设备进行医疗照射，并注意避免不必要的重复检查；采用X射线检查应经过正当性判断，优先选用非X射线的检查方法，对不符合正当性原则的，不应进行X射线检查；应加强对孕妇和可能怀孕妇女的诊断性医疗照射进行正当性判断，对育龄妇女腹部或骨盆进行核素显像检查前，应问明是否怀孕；应严格对儿童的诊断性医疗照射进行正当性判断。

项目建设严格执行“三同时”，采取切实可行的环保措施，保证环保投资和环保设施正常投入与运行，确保项目在取得经济效益和社会效益的同时，具备环境效益。因此，项目射线装置的使用对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害等代价，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

11.7 产业政策符合性

项目拟采取的辐射安全与防护措施满足相关标准的要求，射线装置运行时对周围环境和人员的影响满足相关国家法律、法规和标准的要求，射线装置使用过程中不会给所

在区域带来环境压力，符合清洁生产和环境保护的总体要求。

DSA介入手术和医用电子直线加速器等主要是利用X射线开展放射诊断、治疗等工作，医用电子直线加速器属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》第一类鼓励类中“六、核能4、同位素、加速器及辐照应用技术开发”“十三、医药4、新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等”，其中DSA属于高性能医学影像设备、医用电子直线加速器属于高端放射治疗设备。

因此，本项目属于产业结构鼓励类，符合相关产业政策。

11.8 事故影响分析

11.8.1 事故状态可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射作用于机体后，其能量传递给机体的分子、细胞、组织和器官等基本生命物质后，引起一系列复杂的物理、化学和生物学变化，由此造成生物体组织细胞和生命各系统功能、调节及代谢的改变，产生各种生物学效应。电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程，大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。电离辐射生物效应按照剂量与效应的关系进行分类，分为随机性效应和确定性效应（组织反应）。

随机性效应是指电离辐射照射生物机体所产生效应的发生概率（而非其严重程度）与受照射的剂量大小成正比，而其严重程度与受照射剂量无关；随机性效应的发生不存在剂量阈值。辐射致癌效应和遗传效应属于随机性效应。受照射个体体细胞受损伤引发突变的结果，最终可导致受照射人员的癌症，即辐射致癌效应；受照射个体生殖细胞遗传物质的损伤，引起基因突变或染色体畸变可以传递下去并表现为受照者后代的遗传紊乱，导致后代先天畸形、流产、死胎和某些遗传性疾病，即遗传效应。随机性效应须重点关注，因其无法防护，可通过减少人员的受照剂量以减少随机性效应的发生概率。

组织反应以存在阈值剂量并且反应严重程度随剂量增加而加重为特征的细胞群体的损伤。早期组织反应（照射后几个小时到几周）可能具有炎症性质，其发生是细胞渗透性改变和炎症介质释放的结果。随后的组织反应通常是细胞丢失（例如表皮组织黏膜

炎和脱皮)的结果,尽管组织的非细胞毒性效应也会在该早期反应中起一定作用。晚期组织反应(照射后几个月到几年)如果是由于靶组织直接损伤(例如分割照射后血管阻塞导致的深层组织坏死)引起的就称为“一般性的”,如果是由严重早期反应(例如作为大面积表皮剥蚀或慢性感染的真皮坏死和严重黏膜溃疡导致的小肠狭窄的结果)引起的就称为“结果性的”。这两种情况并不相互排斥,常常是同时存在。

成人不同照射剂量的损伤估计情况见表 11-16。

表 11-16 不同照射剂量对人体损伤的估计表

剂量 (Gy)	类型		初期症状和损伤程度
<0.25 0.25~0.5 0.5~1	/		不明显和不易察觉的病变 可恢复的机能变化,可能有血液学的变化 机能变化,血液学的变化,但不伴有临床症状
1.0~2.0 2.0~4.0 4.0~6.0 6.0~10.0	骨髓型 急性 放射病	轻度	乏力,不适,食欲减退
		中度	头昏,乏力,食欲减退,恶心,1h~2h后呕吐,白细胞短暂上升后下降
		重度	1h后多次呕吐,可有腹泻,腮腺肿大,白细胞数明显下降
		极重度	1h内多次呕吐和腹泻、休克、腮腺肿大,白细胞数急剧下降
10~50	肠型急性放射病		频繁呕吐,腹泻严重,腹痛,血红蛋白升高
>50	脑型急性放射病		频繁呕吐,腹泻,休克,共济失调,肌张力增高,震颤,抽搐,昏睡,定向和判断力减退。病情发展快,病程短,多在1-3天内发生昏迷,休克死亡。

备注:来自《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ 104-2017)和《辐射防护导论》P33。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》,辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级,见表11-17。

表 11-17 辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害后果
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果,或者放射性同位素和射线装置失控导致3人以上(含3人)急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致2人以下(含2人)急性死亡或者10人以上(含10人)急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致9人以下(含9人)急性重度放射病、局部器官残疾
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

11.8.2 风险事故类型

11.8.2.1 医用电子直线加速器

本项目直线加速器的安装、检修由设备销售厂家负责。建设单位只负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备的固有安全连锁装置,设备在正常使用的

情况下发生事故的的概率极小，在意外情况下，可能发生的辐射事故主要包括：

(1) 直线加速器门-机联锁装置旁路/失效造成误照射

因直线加速器门机联锁装置旁路/失效，至门尚未关闭到位直线加速器即出束运行，致门外的公众成员受到误照射或无关人员推门进入正在运行的直线加速器机房内而受到误照射，该种情况下，人员在机房内所受辐射剂量远大于在机房外的，因此只考虑误入机房内的情况。

(2) 人员滞留在机房内造成误照射

①放射工作人员为病人摆位时，控制室人员未观察即出束治疗，造成该摆位人员受到误照射。

②病人治疗前，工作人员、病人家属等进入机房后尚未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不意察觉的地方，控制室放射工作人员未发现即出束治疗，致机房内人员受到误照射

(3) 医疗照射不正当化造成误照射

滥用射线装置对病员进行诊断、治疗，造成病员受到不必要的照射。

(4) 直线加速器调试、维修时造成误照射

①调试阶段公众误入机房

在设备安装调试过程中，机房安全防护措施未完全到位或者运行，至无关人员进入机房，在设备开机出束过程中受到误照射。

②维修阶段人员误入受到误照射

维修过程中若有人误入机房停留在不易察觉的角落未被维修人员发现而开机出束导致机房内误入人员受到误照射。

(5) 未进行质量控制检测

直线加速器年久或更换部件和维、检修后，未进行质量控制检测，机器性能指标发生变化，有可能在诊疗过程中使患者可能受到较大剂量的照射。

11.8.2.2 DSA 装置

X射线装置产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射。因X射线装置设置有专用机房，机房四周屏蔽体、顶板、地板、观察窗及防护门均采用固定辐射防护设施，基本不会发生机房屏蔽体损坏而致无关人员受到误照射的事故，即使发生，也能一目了然而不再开机曝光，不会受到误照射。X射线看不见、摸不着，因此，更多的辐射事故

是因为设备故障和违反操作规程等，而导致无关人员受到误照射或者辐射工作人员受到超剂量照射。这类辐射事故主要体现在以下几个方面：

(1) DSA机房外人员误照射：在设备偏离正常运行工况下，本项目DSA装置出现最不利运行参数即透视时电压125kV、电流110mA，采集时电压125kV、电流500mA，射线装置工作时铅防护门未关闭，造成机房外人员的误照射；

(2) DSA机房内人员误照射：手术人员穿戴个人防护用品屏蔽效能失效，以及其他与手术无关人员（如清洁人员、医疗废物运输人员、维修人员等）滞留DSA机房内，造成机房内人员的误照射。

11.8.2.3 CT 模拟定位机

根据X射线装置的运行特性，可能发生的辐射事故主要如下：

(1) 在设备故障等极端风险情况下，出现X射线装置在最大管电压情况下运行造成机房外公众成员的误照射。

(2) CT模拟定位机机房除患者外，其他无关人员（如清洁人员、医疗废物运输人员、病人家属等）在防护门关闭前因未及时撤离而滞留在机房内，防护门未关闭或射线装置工作时门被开启，此时射线装置开机出束，造成射线装置机房内公众成员的误照射。

11.8.3 后果分析

11.8.3.1 医用电子直线加速器

根据上述分析，直线加速器运行产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射，主要为加速器门-机联锁装置失效时人员误入加速器机房、工作人员或病人家属人员滞留在机房内不易察觉的位置受到误照射，以及设备调试、维修阶段人员误入加速器机房受到误照射。

根据CBCT功能的工作情况，其诊断射线能量远小于加速器治疗模式，故CBCT 出现误照射事故危害性远小于直线加速器误照射事故危害性。因此，下面事故受照剂量核算以加速器治疗模式进行核算。

(1) 设备正常运行时误入受到误照射剂量核算

直线加速器出束治疗时，机房内会发出出束警报，同时机房内设置有视频监控，工作人员或公众成员听到声响后可就近按下机房内急停按钮或者控制室放射工作人员发现后可按下紧急停止按钮，该反应时间考虑为0.5min；门-机联锁装置失效时人员误入机房，或者工作人员、病人家属滞留在机房内不易察觉的位置时，其距离直线加速器辐

射源点较远，考虑为非主射方向的1m；工作人员为病人摆位时受到误照射时距离直线加速器辐射源点较近，考虑为非主射方向的0.3m。

根据上述条件，并根据本报告直线加速器屏蔽效能核算公式，此种情况下人员受到的误照射剂量见下表11-18。

表 11-18 正常治疗误入事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情景	射线类型	距离	照射时间	剂量
门-机联锁装置失效误入、工作人员或公众成员滞留在机房内不易察觉的角落时出束	散射漏射	1m	0.5min	$4.12 \times 10^{-2} \text{Gy}$
			1.0min	$8.23 \times 10^{-2} \text{Gy}$
工作人员在为患者摆位时加速器误出束	散射漏射	0.3m	0.5min	$4.57 \times 10^{-1} \text{Gy}$
			1.0min	$9.15 \times 10^{-1} \text{Gy}$

备注：Sv、Gy 的转换系数取 1。

(2) 调试、维修阶段误入受到误照射剂量核算

直线加速器调试、维修阶段，1m处输出剂量率最大为24Gy/min，单次开机照射时间不超过1min。

加速器调试、维修阶段时人员误入机房，其距离直线加速器辐射源点较近，考虑为主射方向的1m和非主射方向的1m。

直线加速器的调试、维修阶段时人员误入机房在机房内不易察觉的位置，其距离直线加速器辐射源点较近，考虑为主射方向的1m和非主射方向的1m。正常情况下出束后公众成员听到出束警报声响后可就近按下机房内急停按钮或者从不易察觉的位置出来后控制室辐射工作人员发现后立即按下紧急停止按钮，该反应时间考虑为0.5min；非正常情况下，误入人员未出来无人按下急停按钮，受照时间考虑为1.0min。

按照射线的衰减理论（与距离的平方成反比），则此种情况下，误入人员的事故受照剂量估算如下表11-19所示。

表 11-19 调试、维修阶段事故状态下人员受到的剂量估算表

事故情景	射线类型	距离	照射时间	剂量
加速器调试、维修时人员受到误照射	主射线	1m	0.5min	12Gy
			1.0min	24Gy
	散射、漏射	1m	0.5min	0.16Gy
			1.0min	0.33Gy

备注：Sv、Gy的转换系数取1。

综上，根据核算，直线加速器运行时误入人员受到误照射的事故情况下，单次误入人员受到的剂量最大为 $9.15 \times 10^{-1} \text{Gy}$ （915mSv），超过年剂量限值，即造成一般辐射事故的发生，该事故状态下，人员受到误照后引起机能变化，血液学的变化，不伴有临床

征象。

直线加速器调试、维修阶段误入人员受到误照射的情况下，误入人员单次在非主射方向上受到的剂量最大为0.33Gy（330mSv），超过本项目人员的年剂量限值，即造成一般辐射事故的发生，该事故状态下，人员受到误照后引起机能变化，血液学的变化，但不伴有临床征象。

直线加速器调试、维修阶段误入人员受到误照射的情况下，误入人员单次在主射线方向上受到的剂量最大为24Gy，人员受到误照后能导致患上肠型急性放射病，并导致死亡。设备维修、调试一般由设备厂家派1~2名专业人员进行维修。设备维修、调试时维修人员分布设备四周维修，故停留在主射方向上的维修人员一般不会超过2名，导致死亡人数不会超过2个，最高辐射事故等级为重大辐射事故。

11.8.3.2 DSA装置

(1) 机房外人员误照射

在极端情况下，项目DSA装置透视工况运行管电压为最大管电压，即125kV，电流自动跟随电压，电流不大于110mA；在极端情况下，项目DSA装置采集工况运行管电压也为最大管电压，即125kV，电流自动跟随电压，电流不大于500mA。DSA装置在最大运行参数条件下运行，单台手术时间内机房外最大剂量估算情况见表11-20。

表11-20 机房外误照射人员所受辐射剂量估算表

位置	事故情景	机房外周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	单台手术最大曝光时间（min）	有效剂量（mSv）	总有效剂量（mSv）	吸收剂量（mGy）
DSA南侧墙体外	最大运行参数条件下运行，铅门未关闭，人员位于机房外	7.57×10^4 （透视）	21	26.487	37.95	37.95
		3.44×10^5 （采集）	2	11.466		

注：仅考虑散射线，Sv/Gy=1。

根据估算可知，在理论可预知风险条件下，本项目DSA机房外人员受到的单台手术误照射的吸收剂量最大约37.95mGy，超过年剂量限值，即造成一般辐射事故。

(2) 机房内人员误照射

因各种原因导致X射线装置在运行过程中人员滞留机房内（未穿戴个人防护用品或防护用品屏蔽效能失效）发生误照射辐射事故，按照DSA极端运行情况下（透视工况为125kV/110mA，采集工况为125kV/500mA），考虑人员受到照射的位置距离X射线装置靶点约1m考虑，其剂量估算情况见表11-21。

表11-21 机房内误照射人员所受辐射剂量估算表

工作模式	受照时间	受照人员所在位置周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	有效剂量 (mSv)	吸收剂量 (mGy)	总吸收剂量 (mGy)
采集模式: 1m 处发射率 $9.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA min}$	10s (单次最长采集)	6.01×10^6	16.70	16.70	60.78
透视模式: 1m 处发射率 $9.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA min}$	2min (发现后使用急停按钮)	1.32×10^6	44.08	44.08	
采集模式: 1m 处发射率 $9.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA min}$	2min	6.01×10^6	200.34	200.34	663.13
透视模式: 1m 处发射率 $9.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA min}$	21min	1.32×10^6	462.79	462.79	

注: 仅考虑散射线, Sv/Gy=1。

根据以上后果分析可知, 当单次透视和采集完成后, 发现DSA机房内人员滞留机房内发生误照射辐射事故风险, 该滞留机房人员总吸收剂量为60.78mGy; 当1台手术完成后, 才发现DSA机房内人员滞留机房内发生误照射辐射事故风险, 该滞留机房人员总吸收剂量为663.13mGy; 这两种情况下均可能发生超年有效剂量限值照射的事故风险, 即造成一般辐射事故。

11.8.3.3 CT模拟定位机

CT模拟定位机的发生事故时, 使公众成员受到的照射剂量计算见表11-22。

表11-22 事故时人员所受辐射剂量估算表

位置	事故情景	受照人员所在位置周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	单次最大受照时间 (min)	总有效剂量 (mSv)
CT 模拟定位机 机房外	140kV, 800mA, 1m 处发射率 $11.8\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$	3.69	2	1.32×10^{-4}
CT 模拟定位机 机房内	120kV, 300mA, 1m 处发射率 $9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{min}$	1.71×10^5	2	5.72

备注: Sv、Gy 的转换系数取 1。

综上核算, 本项目CT模拟定位机发生的单次误照射可能会造成人员受到超过年剂量限值, 属于一般辐射事故, 其辐射照射可能导致不明显和不易察觉的病变, 一般不会导致严重辐射损伤, 但可能会导致随机性效应发生概率增加。

11.8.3 风险事故防范措施

11.8.3.1 医用直线加速器

为减少各种辐射事故的发生, 建设单位拟采取的防范措施如下:

①医用直线加速器门-机联锁装置失效风险防范措施

按照规范要求定期对各个联锁装置进行检查, 发现故障及时清除, 严禁在门-机联

锁装置失效的情况下违规操作；通过医用直线加速器故障报警系统及时发现故障并修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。设备维修单位维修时，旁路联锁系统需取得辐射安全管理机构的批准，并在维修后及时进行联锁恢复及功能测试。

②人员滞留在机房内风险防范措施

开机出束运行前，按照操作规程清点人数工作人员和病人家属，并按程序通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声光报警警示。同时，经常检查监控系统，单个摄像头损坏要及时维修，保证监控系统能全视角无死角的监控机房和迷道。

③医疗照射不正当化产生辐射事故的风险防范措施

治疗前针对患者制定治疗方案，并进行正当化判断。同时辐射工作人员须加强专业知识学习，加强辐射防护知识培训，加强职业技能培训，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

④医用直线加速器调试、维护维修时风险防范措施

调试阶段由设备方/辐射安全设施单位负责。调试前建设单位做好辅助工作，开机出束前项目用房区域外设置警示标识、警示带、安保人员等，先清理无关人员后禁止无关人员进入项目用房区域，自身安保人员全部在外围巡视，保证除调试技术人员和控制室值守人员外，禁止无关人员进入加速器机房和控制室。

医院在采购医用直线加速器时应充分考虑生产企业的售后产品技术支持，提高产品可靠性，减少设备维修频率；在维护和维修时，佩戴个人剂量报警仪，加速器运行钥匙由设备维护维修人员掌控，避免其他人员误操作造成误照射；同时维修后开机出束试机前，按照操作规程通过监控系统对直线加速器机房全视角搜寻；用对讲机呼叫，声灯报警警示，确保安全无人在机房后才能试机。

⑤未进行质量控制检测风险防范措施

建设单位按照规范要求做好设备稳定性检测和状态检测以及辐射防护与安全措施定期检查，使设备及各项辐射防护安全措施始终保持在有效状态下工作。

建设单位在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

11.8.3.2 DSA 装置、CT 模拟定位机

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根

据射线装置运行原理，射线装置在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（就近按下急停按钮），确保装置停止出束，再对人员进行救治。

对人员进行救治，医院应采取以下措施防范风险事故发生。

①设备操作前，先进行安全检查，检查门灯联动、各防护措施是否正常。

②撤离机房时应清点人数，确认没有无关人员停留在机房后才开始操作。此外，在设备及控制台设置有急停按钮，可立即停止此类事故的发生。在机房内设置紧急停机按钮醒目的指示和说明，便于在紧急情况下使用。

③手术医生在开展手术时，需要进行机房内透视曝光时，应由熟练医生正确穿戴防护用品熟练完成。

④辐射工作人员须加强专业知识学习，加强防护知识培训，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，保证按照机房管理要求开展手术。

⑤医院应定期做好设备稳定性检测和质控检测，加强设备维护，使设备始终保持在最佳状态下工作，尽可能避免最不利条件运行的风险事故发生。

⑥培植辐射工作人员的安全文化素养，提高辐射工作人员个人防护意识，在开展介入手术时正确使用防护用品，佩戴个人剂量计，辐射工作人员定期参加辐射安全与防护知识的培训。防护用品不使用时，采用悬挂或平铺方式妥善存放，防止断裂。

医院按照规范要求做好辐射防护与安全措施定期检查，使设备及各项辐射防护安全措施始终保持在有效状态下工作。医院在认真落实上述措施后，能有效减少和杜绝辐射事故的发生，减少对周围环境和公众的影响。

11.9 环保投资

本项目环保投资估算共约120万，占总投资2.0%，具体情况见表11-22。

表11-22 项目环保投资一览表

序号	环境保护（辐射防护）措施	投资（万元）
1	管理制度建立、修订等，制度上墙，各处标识标牌、警示标志等	5
2	辐射安全与防护培训与考核、个人剂量监测、体检等	10
3	固定式剂量报警仪、个人剂量报警仪、X-γ辐射剂量巡测仪、放疗剂量仪、水箱、个人剂量计等	55
4	防护门、观察窗及各工作场所屏蔽体、辐射防护设施、防护用品等	20

5	视频监控、对讲装置、门灯联动、电离辐射警示标志、红外线防夹装置、工作状态指示灯、急停开关等	10
6	环评、验收、监测、办证等	20
7	合计	120

注：机房墙体计入工程投资。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射安全与环境保护管理机构

按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》关于“营运管理”的要求，为确保辐射防护可靠性，维护辐射工作人员和周围公众的权益，履行放射防护职责，尽可能的避免事故的发生，医院应培植和保持良好的安全文化素养，减少因人为因素导致人员意外照射事故的发生。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：使用放射性同位素、射线装置的单位使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

重庆市武隆区人民医院已制定放射防护相关管理制度，并于 2025 年 1 月进行了修订，成立了辐射防护安全工作领导小组，明确了各成员的职责，领导小组下设办公室在公共卫生科，并指定专人担任医院辐射安全管理员，管理人员学历为本科。医院现有的辐射安全与环境保护管理机构设置符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求。

本项目开展后，医院拟根据科室设置和人员配置情况，完善管理机构和管理人员，重新修订辐射防护管理组织成员及成员职责文件，确保管理机构满足规范要求和医院运行需求。

12.2 辐射工作人员配置

本项目计划劳动定员 36 人，主要包括医师（放疗、介入）、技师、护士、物理师等，均为辐射工作人员，人员结构和数量满足要求。本项目具体工作人员目前尚未确定。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的规定：从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（公告 2019 年第 57 号），辐射安全与防护培训需求的人员通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（以下简称培训平台，网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）免费学习相关知识。新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加相对应专业类别考核。

医院现已开展有放射诊断、介入等诊疗工作，本项目辐射工作人员从医院现有工作人员调配、培养或新招聘；医院现有辐射工作人员均已参加辐射安全防护培训或自主考核，现有辐射工作人员均配置个人剂量计，建立健康体检档案。本项目运行前新增辐射工作人员须及时在辐射安全与防护培训平台学习，并取得考核合格成绩单后方可上岗。

12.3 辐射安全管理

12.3.1 规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定：使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。

医院已运营多年，已制定有《放射工作安全防护管理制度》《放射安全与防护管理制度》《放射科工作人员制度》《放射工作人员职业健康管理制度》《个人剂量监测管理制度》《放射科档案管理制度》《放射工作人员学习培训制度》《辐射事故应急处置预案》等制度。

上述各种制度基本健全，具有一定的可操作性，医院日常辐射安全工作按照上述管理制度进行。但医院未开展过医用电子直线加速器项目，待本项目投运前，可在沿用上述辐射防护管理制度的基础上进行适应性更新，并补充部分诊疗项目及设备设施操作规程等制度。

本项目运行后，医院还应根据实际使用情况和新发布更新的法律法规等，对现有及拟制定辐射安全管理规章制度进行不断的修订和完善。

12.3.2 个人剂量管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案终生保存。

建设单位现有辐射工作人员均配置了个人剂量计，每3个月进行一次个人剂量监测，

医院最近四个季度的总个人剂量监测结果均小于年剂量约束值5mSv/a, 未出现超年剂量的情况。本项目的辐射工作人员尚未确定, 在本项目运行前, 医院也应按照现有管理制度要求为每名放射工作人员配置个人剂量计, 并按照要求进行剂量监测, 建立个人剂量档案。

本项目建成后, 部分辐射工作人员在医院不同科室均从事相应辐射工作, 则该辐射工作人员的个人剂量计应做到计随人走, 正确记录该辐射工作人员受到的年剂量情况。

12.3.3 职业健康体检

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第二十九条规定: 生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位, 应当严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定, 对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查, 建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

辐射工作人员上岗前, 应进行岗前职业健康检查, 符合辐射工作人员健康标准的方可参加相应的辐射工作。从事辐射工作期间, 辐射工作人员应定期进行职业健康检查, 两次检查的时间间隔不应超过2年, 必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的, 应脱离辐射工作岗位, 并进行离岗前的职业健康检查。项目单位应建立和保存辐射工作人员的健康档案。

根据调查, 医院现有辐射工作人员均按照要求每两年进行一次职业健康体检, 目前在岗辐射工作人员均无体检异常, 无疑似职业病人员。待本项目辐射工作人员落实到位后, 也按照要求进行岗前职业健康体检, 并按照相关要求进行了复检, 并建立相应档案。

12.3.4 年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定: 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位, 应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估, 并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。医院已落实年度评估制度, 于每年1月31日前均向重庆市生态环境局提交上一年度的年度评估报告。年度评估报告主要内容包括医院基本信息、核技术应用项目内容、辐射安全和防护设施和监测设备的运行与维护情况、辐射安全管理制度、辐射工作人员安全培训管理情况、辐射工作人员个人剂量监测情况、本年度核技术应用项目的办理情况、工作场所辐射环境监测、辐射事故及应急响应情况、存在的安全隐患及其整改情况、其他有关法律法规的落实情况等内容。后续医院应将本项目纳入评估, 每年按要求开展年

度评估工作，对评估中发现的问题或隐患及时整改，并按规定上报年度评估报告。

12.3.5 档案管理

辐射安全与防护管理档案资料分以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“年度评估”、“辐射应急资料”。

本项目运营前，医院承诺认真落实相关制度和规定，新增辐射工作人员进行职业健康体检、配置个人剂量计、参加辐射安全与防护培训并取得合格证，将健康体检报告、个人剂量监测报告、辐射安全培训合格证等建立档案并保存。档案信息和保存等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定执行。

医院应根据自身辐射项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。

12.4 核安全文化建设

核安全文化是以“安全第一”为根本方针，以维护公众健康和环境安全为最终目标；保障核安全是培育核安全文化的根本目的，而培育核安全文化是减少人因失误的有力措施，是核安全“纵深防御”体系中的重要屏障。

核安全文化是核安全的基础，是从事核技术利用活动单位及其全体工作人员的责任心。对于核技术利用项目核安全文化建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化，核安全文化表现在从事核技术利用活动单位的相关领导与员工及最高管理者应具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识，提高并保持核安全意识。

建设单位已建立辐射环境安全管理体系，设立了辐射防护工作领导小组，明确了小组人员与职责，将良好的核安全文化融汇于运营和管理的各个环节；承诺持续开展核安全文化建设，让其发挥的作用更加有效，做到凡事有章可循，凡事有据可查，凡事有人负责，凡事有人检查。在日常工作中将核安全文化建设贯彻于核技术利用活动中，不断识别单位内部核安全文化的弱项和问题并积极纠正与改进；落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”。让核安全文化落实到每个从事核技术利用活动人员的工作过程中，确保核技术利用项目的辐射安全。

12.5 辐射活动能力评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的相关规定，医院从事的本项目辐射活动能力评价如表12-1。

表12-1 医院从事本项目辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已成立辐射安全与防护管理工作领导小组，并有1名具有本科学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。
从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	本项目工作人员拟从医院劳动定员中调配、培养或新招聘。医院已制定培训计划，医院后期将按照制度落实持证上岗。
射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目各工作场所拟设置警示标志、剂量监控、各种多重连锁、加速器钥匙控制和急停按钮、就诊指示标志、分区标识等措施，配置防护用品、辐射剂量监测仪、个人剂量计、剂量报警仪等设施。
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	医院现有辐射环境管理制度较齐全，但还应补充部分新设备的操作规程，并根据现有运行经验和更新的法律法规、标准等完善现有管理制度，相应制度张贴上墙。
配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	本项目拟配备X-γ辐射剂量巡测仪、固定式剂量报警仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等，同时拟配置铅衣、防辐射裙、防辐射围领、铅橡胶帽、铅防护眼镜、介入防护手套、铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏、移动铅屏风（含观察窗）等防护设施和防护用品。
有完善的辐射事故应急措施。	已制定辐射事故应急处置预案，需结合本项目情况进一步完善。

据上表可知，本项目的管理工作依托医院现有的管理体系，已具备了一定的从事辐射活动能力，但还应在本项目建设完成后运营前，针对本项目完善相应管理规定，认真落实上述要求后，医院才具备从事本项目辐射活动的的能力。

12.6 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等相关法规和标准，必须对射线类装置使用单位进行个人剂量监测和工作场所监测工作。

根据调查，医院已制定辐射监测计划，并委托有资质单位每年对现有辐射工作场所进行监测，监测结果均满足相关标准的要求，现有辐射项目运行对周围环境和人员的影响满足要求。

本项目建成后，医院需修订完善监测计划，并将辐射工作场所周围环境监测纳入辐射监测计划，配备监测仪器，对各辐射工作场所周围人员和环境进行自主监测，并做好

监测记录，存档备查。辐射监测内容包括：

(1) 个人剂量监测

对辐射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求辐射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，专人专戴，并将个人剂量监测结果存入档案。

监测单位：具有个人剂量监测资质的单位。

监测频率：一般为1个月，最长不应超过3个月；如发现异常可加密监测频率。

监测结果处理：年剂量超过5mSv、单次监测结果超过1.25mSv，开展调查，查找原因（个人剂量计佩戴不规范、辐射防护措施失效、工作负荷过大等），根据调查结果改正或者对工作人员进行调岗等。

(2) 工作场所环境监测

为保证项目各辐射工作场所的安全，项目建成后的监测包括验收监测、例行监测和日常监测。

①验收监测：验收时、防护设施发生变化、项目设备大修或者更换后监测一次，委托有资质单位监测。

②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。监测结果纳入年度评估报告提交生态环境主管部门。

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由建设单位自行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改，监测仪器按照规定定期送有资质单位进行检定。

监测因子及执行标准限值如下表所示。

表 12-2 项目监测及检查内容一览表

工作场所	监测位置	监测项目	限值要求	监测频次
直线加速器机房	机房各屏蔽体外	周围剂量当量率	参照本项目直线加速器机房控制水平	每年一次（涉及设备大修等应进行监测）
CT模拟定位机房	机房各屏蔽体外		$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	
DSA机房	机房各屏蔽体外		$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	

备注：①在屏蔽体外的监测，监测点位主要布置在四周屏蔽体0.3m处、防护门及观察窗外0.3m处、门缝搭接、穿墙管线等屏蔽相对薄弱处，以及屏蔽体楼上距地面0.3m（DSA、CT模拟定位机为楼上1.0m），楼下距地面1.7m处等；加速器、CT模拟定位机机房的监测布点可以参考前文各机房屏蔽效能核算点。

(3) 安全检查

为了确保直线加速器机房的安全运行，需定期对其工作场所各项安全连锁设施进行检查，确保其处于正常状态，检查内容和频率见表 12-3。

表 12-3 放射治疗中心工作场所安全措施检查一览表

检查地点	检查项目	日常监测频率
直线加速器机房	门机联锁、监控、对讲、电离辐射警告标志、工作状态指示灯、设备系统自带联锁、防护门防夹等。	每日
	急停开关、固定式剂量报警仪、激光定位等。	每月

12.7 辐射事故应急

(1) 辐射事故应急处置预案及演练情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《重庆市辐射污染防治办法》要求，建立完善的辐射事故应急方案或具有针对性与操作性的应急措施。

医院目前已制定了《辐射事故应急处置预案》（以下简称《预案》），《预案》中医院成立了辐射事故应急处置工作领导小组；领导小组的主要职责是负责编制应急处置预案，明确应急小组人员联系及报告电话；医院应急预案包括辐射事故的应急措施、应急处置程序、责任追究等内容，并与医院其他预案相联动。医院运行至今，未发生辐射安全事故，并定期组织开展应急预案演练工作；医院还应结合市、区两级生态环境部门辐射事故应急处置预案修订完善应急报告联系方式以及应急能力建设、应急演练等内容，使预案更具可操作性。

(2) 直线加速器机房典型辐射事故应急处置措施

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根据直线加速器运行原理，加速器在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（就近按下急停按钮），确保装置停止出束，并立即撤离人员。

(3) DSA 机房、CT 模拟定位机房典型辐射事故应急处置措施

由于各种管理不善或人误等造成的误照射，导致人员的照射方式主要是外照射。根据 DSA 和 CT 装置运行原理及特性，DSA 和 CT 装置在开机出束状态下才会产生辐射影响，未出束则不会产生辐射影响。因此，发生误照射事故时应第一时间切断装置电源（就近按下急停按钮），确保装置停止出束，并立即撤离人员。

(4) 辐射事故报告和应急处理

① 事故报告程序

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向重庆市生态环境局、重庆市武隆

区生态环境局等部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

②事故应急处理程序

a.事故发生后，当事人应立即通知同工作场所的工作人员离开，并及时上报；

b.医院辐射事故应急处置工作领导小组召集相关专业人员，根据具体情况迅速制定事故处理方案；

c.事故处理必须在单位负责人的领导下，在有经验的工作人员和卫生防护人员的参与下进行。未取得防护检测人员的允许不得进入事故区。

③其他事项

除上述工作外，还应进行以下几项工作：

a.应尽可能记录现场有关情况，对工作人员和公众成员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员和公众成员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。

b.事故处理后必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

c.加强医院各辐射工作场所的检查和管理工作，认真做好事故预防措施，杜绝其他辐射工作场所辐射事故的发生。

d.医院后续还应进行辐射事故应急演练，并做好记录，加强相关人员的辐射应急处置能力，控制辐射事故影响。

12.8 竣工环保验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。根据有关法律法规和规范开展验收工作，并编制竣工验收报告表。建设项目正式投产运行前，建设单位应当如实查验、监测项目环境保护设施运行情况，编制验收（调查）报告，完成自主竣工环保验收工作。同时，项目建成后，应及时办理《辐射安全许可证》，在许可范围内从事核技术利用项目。本项目竣工环境保护验收一览表见表 12-4。

表12-4 项目竣工环保验收内容及管理要求一览表

序号	验收内容	本项目验收要求	备注
1	建设内容	①直线加速器机房位于医院红线范围内南侧地块直线加速器楼 1F 东南侧，有效内空尺寸：8.2m×7.5m×4.2m（不含迷路）；CT 模拟定位机房位于直线加速器机房西侧，有效	不发生重大变动

		内空尺寸：7.03m×5.5m×4.0m；DSA 机房位于医院红线范围内西北侧地块内科综合楼 10F 手术中心靠北侧中部，有效内空尺寸：7.25m×10.0m×4.5m。 ②新增 1 台医用电子直线加速器（10MV）、1 台 CT 模拟定位机（额定电压 140kV、额定电流 1000mA）、1 台 DSA 装置（单管头，额定电压 125kV、额定电流 1000mA）。			
2	环保资料	项目建设的环评影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等			齐全
3	机房面积及尺寸要求	机房名称	最小单边长度	最小有效面积	GBZ130-2020
		DSA 机房	≥3.5m	≥20m ²	
		CT 模拟定位机	≥4.5m	≥30m ²	
		直线加速器机房	应有足够的有效使用空间		GBZ121-2020
4	年有效剂量管理	辐射工作人员年有效剂量管理目标值<5mSv 机房外公众成员年有效剂量管理目标值<0.1mSv			GB18871-2002 HJ1198-2021 及医院管理要求
5	人员要求	配备放疗医师、介入手术医师、技师、物理师、护士等辐射工作人员，参加辐射安全与防护培训并考核合格，按要求复训。			《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等
6	剂量率控制	直线加速器详见表 7-7。			根据 GBZ/T201、HJ1198-2021、GBZ121-2020 核算后综合取值
		CT 模拟定位机房：距离机房各屏蔽体、门、窗外表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm 处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h。			GBZ130-2020
		DSA 装置透视条件下，距离机房各屏蔽体、门、窗外表面 30cm，机房顶棚上方距楼上地面 100cm 处，机房地面下方距楼下地面 170cm 处的周围剂量当量率≤2.5μSv/h。			
7	防护用品	每名放射工作人员均配置 1 枚个人剂量计（其中 DSA 手术医务人员铅衣内外各配置 1 枚），根据工作场所配置适宜数量的个人剂量报警仪，配置 X-γ辐射巡测仪、固定式剂量报警仪。			GBZ130-2020 GBZ128-2019 HJ1198-2021
		配备与诊断、治疗、介入手术相适宜的辅助防护设施及个人防护用品，包括铅衣、防辐射裙、防辐射围领、铅橡胶帽、铅防护眼镜、介入防护手套、铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏、移动铅屏风（含观察窗）等防护设施和防护用品等，具体见报告表 10-4、表 10-5 对应内容。			
8	辐射防护与安全措施	直线加速器机房	①机房的屏蔽能力能满足要求，机房内各类穿墙管线应不削弱屏蔽防护能力。 ②机房内设置急停开关、固定式剂量报警仪、		齐全，满足相关要求

			<p>紧急开门按钮、视频监控系统与对讲系统，防护门外设置红外防挤压装置。</p> <p>③加速器自带多重联锁装置，如系统联锁、双剂量联锁、钥匙控制，并设置故障保护系统等，并设置门机联锁。</p> <p>④防护门外设置电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯。工作场所设置辐射分区标识。</p>	
		CT模拟定位机房	<p>机房内设置有机械排风设施，保持良好的通风，防护门外设有电离辐射标志，并安设醒目的工作指示灯，设置门灯联锁；平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。</p>	齐全，满足相关要求
		DSA机房	<p>①机房的屏蔽能力能满足要求，机房内各类穿墙管线应不削弱屏蔽防护能力；</p> <p>②机房各防护门外均设置电离辐射警告标志，安装工作状态指示灯，并设置门灯联锁。</p> <p>③机房内设置有机械排风设施，保持良好的通风，防护门外设有电离辐射标志，并安设醒目的工作指示灯，设置门灯联锁；平开门设置自动闭门装置，推拉门设置防夹装置。</p>	齐全，满足相关要求
9	管理	<p>有辐射环境管理机构；有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、年度评估制度、辐射事故应急处置预案等。相应制度张贴上墙。</p>		按要求制定、完善制度
10	废物排放	废气	①直线加速器机房废气经排风管道至直线加速器机房西侧依托直线加速器楼排风井引至楼顶排放，直线加速器机房的通风换气次数应不小于4次/h。	HJ1198-2021、GBZ121-2020、GBZ130-2020
			②CT模拟定位机房废气经排风管道至直线加速器机房西侧依托直线加速器楼排风井引至楼顶排放。	
			③DSA机房废气经排风管道引至同层北侧墙体室外排放	
		废水	少量生活废水和医疗废水依托内科综合楼-2F规划埋地式污水处理站处理达标后，依托医院总排放口排入市政污水管网。	
固废	<p>①少量医疗废物依托停车楼-1F规划医疗废物贮存点贮存，统一交由有资质单位处理。</p> <p>②少量生活垃圾依托医院收运系统，交由环卫部门处理。</p> <p>③少量铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后由医院收集妥善保存。</p> <p>④加速器机头更换组件交由厂家或维修单位按相关规定进行处理。</p> <p>⑤报废的DSA和直线加速器CBCT按照要求对其装置内的X射线管进行去功能化后，交由有资质单位回收，保留回收手续并做好相关记录存档。</p>			

表 13 结论与建议

13.1 项目概况

重庆市武隆区人民医院拟在重庆市武隆区凤山街道建设东路3号红线范围内新建内科综合楼10F和直线加速器楼1F内实施“重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目(辐射部分)”，该项目总建筑面积约940m²。

①直线加速器机房拟位于医院红线范围内南侧地块直线加速器楼1F东南侧，配套建设控制室、设备间、CT模拟定位机房、办公室、计划室、制模室、物理室等辅助功能用房，总建筑面积约810m²，并拟配置1台10MV医用电子直线加速器(Ⅱ类射线装置)、1台CT模拟定位机(Ⅲ类射线装置)，用于开展肿瘤放射治疗工作。

②DSA机房拟位于医院红线范围内西北侧地块内科综合楼10F手术中心靠北侧中部，配套建设控制室、设备间等辅助功能用房，总建筑面积约130m²，并拟配置1台DSA装置(Ⅱ类射线装置，单管头)，用于开展介入手术工作。

13.2 实践正当性

本项目的建设对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害等代价，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

13.3 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录(2024年本)》，本项目属于产业结构鼓励类，符合相关产业政策。

13.4 辐射环境质量现状

根据监测统计结果可知，本项目拟建址所在地块及周边环境 γ 辐射剂量率的监测值在79nGy/h~83nGy/h之间(未扣除宇宙射线响应值)，与《2023年重庆市辐射环境质量报告书》相比，本项目拟建址未见辐射异常。

13.5 选址可行性及布局合理性

(1) 选址可行性

本项目放疗中心拟布置在医院占地范围内南侧地块新建直线加速器楼1F，属于建筑物底层，该区域无地下楼层，不属于公众聚集区域，便于机房的辐射防护与安全，能更好的保护病人及医院工作人员的安全，同时考虑了保守的屏蔽防护方案，对周围环境

影响较小。

本项目 DSA 机房拟布置在医院占地范围内西北侧地块新建内科综合楼 10F 手术中心靠北侧中部，与其它科室相对独立，可依托手术中心相应辅助设施用房；手术中心内仅医护人员和病人活动，无其他公众成员停留，远离公众聚集区域，同时考虑了保守的屏蔽防护方案，对周围环境影响较小。

因此，从辐射防护与环境保护角度，项目选址可行。

(2) 布局合理性

本项目放疗中心各机房拟位于直线加速器楼 1F 内，属于建筑物底层，楼下无建筑，楼上为车库；直线加速器机房拟设置 L 形迷路，与 CT 模拟定位机房等辅助用房相邻及同层布设，相对集中，且设置齐全，满足放疗开展需求；配套建设控制室、设备间、办公室、计划室、物理室、制模室、阅片/医生办公室等辅助功能用房。

本项目 DSA 机房拟布置在新建内科综合楼 10F 手术中心靠北侧中部，与其它科室相对独立，可依托手术中心相应辅助设施用房，并拟采取符合标准要求的屏蔽防护结构和材料，充分考虑了周边相邻区域各场所的人员防护与安全；项目布局利于病患就医，人流、物流通道相对独立，其设置布局利于辐射防护安全控制。

综上，从辐射防护与环境保护角度，平面布局合理。

13.6 辐射防护与安全措施

(1) 辐射工作场所分区管理

本项目按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等的要求进行分区，按照要求采取相应的分区管理措施，限制无关人员受到不必要的照射。

(2) 机房屏蔽防护

本项目各机房均设计了足够厚度的屏蔽体，可保证房间屏蔽体外周围剂量当量率满足辐射防护的要求；各屏蔽体的穿墙管线采用多种穿越方式（如“Z”、“U”、斜线等）等，对屏蔽体的防护能力削弱甚微，不影响墙体的屏蔽防护效果；部分屏蔽体直穿位置处内侧包裹长度不低于2倍管径宽度的2~3mmPb铅皮，以进行屏蔽补偿，射线需经过多次散射才能穿出，能保证机房的屏蔽能力，对环境影响很小；铅防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，以保证防护门搭接处的屏蔽能力，且施工时保证施工质量。

(3) 安全联动装置及其他措施

①本项目拟配置自身安全性能较好的医用电子直线加速器；机房拟设置多重联锁、急停按钮、监控系统、对讲系统；机房内拟设置固定式剂量报警装置，具有声光报警功能；防护门上方拟设置醒目的工作状态指示灯，与设备运行状态联锁，并设置中文说明；防护门上拟设置电离辐射警示标识；防护门内拟设置应急开门按钮；拟在机房防护门外侧墙壁上安装手动应急开门手摇装置以备停电时使用，紧急情况下可手动打开防护门；防护门处拟设置红外线防挤压装置。

②CT模拟定位机房拟设置门灯联动系统，各防护门外上方拟设置醒目的工作状态指示灯、电离辐射警告标志，电动推拉门拟设置红外线防夹装置，平开门拟设置自动闭门装置；拟在外墙醒目位置设置放射防护注意事项告知栏；并拟按有关标准要求为患者配备个人防护用品。

③DSA机房拟设置门灯联动系统，各防护门外上方拟设置醒目的工作状态指示灯、电离辐射警告标志，拟设置铅玻璃观察窗、视频监控系统 and 双向对讲系统，电动推拉门拟设置红外线防夹装置，平开门拟设置自动闭门装置，拟在缓冲区外墙上醒目位置张贴辐射防护注意事项告知栏；并按有关标准要求为手术医护人员和患者配备个人防护用品。DSA拟配置铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏和移动铅防护屏风（含观察窗）等辅助防护设施；并拟按有关标准要求配备介入手术工作人员和患者个人防护用品。

④通风：本项目直线加速器机房和模拟定位机房产产生废气经排风管道至直线加速器机房西侧依托直线加速器楼排风井引至楼顶排放，加速器机房通风换气次数不低于4次/h；DSA机房废气经排风管道引至同层北侧墙体室外排放；均能保证各机房内良好的通风。

⑤本项目拟配置个人剂量报警仪、X-γ辐射巡测仪等监测仪器，并拟配置设备质量检测仪器，保证设备、辐射工作人员和公众成员的安全。

综上，建设单位拟采取的辐射安全与防护措施落到实处后，项目的建设能够满足辐射防护的要求。

13.7 环境影响分析

(1) 场所剂量水平：根据前文核算，直线加速器机房屏蔽设计厚度能满足《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)、

《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）等的相关要求；CT模拟定位机房和DSA机房屏蔽设计能力能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

（2）剂量估算：根据前文估算，本项目辐射工作人员、公众成员的年附加有效剂量均满足本项目的年有效剂量约束值（辐射工作人员5mSv/a，公众成员0.1mSv/a），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及相关标准的要求。

（3）环境保护目标影响：通过前文核算可知各机房外50m评价范围内各环境保护目标处的年有效剂量均低于医院管理目标值。因此，本项目所致各机房外50m评价范围内环境保护目标不会带来不利影响，对环境的影响可以接受。

（4）“三废”影响：本项目运行过程中不产生放射性废气、放射性废水和放射性固体废弃物。各机房内射线装置运行时产生臭氧和氮氧化物量极少，各机房均拟安装专门的排风系统，所产生废气经废气管道收集引至室外排放，排放后废气经大气扩散和分解后，浓度将进一步降低。本项目辐射工作人员等产生的少量生活污水和医疗废水引至内科综合楼-2F规划埋地式污水处理站处理达标后，依托医院总排放口排入市政污水管网；医疗废物及时打包整理，依托停车楼-1F规划医疗废物贮存点贮存，统一交由有资质单位处理；生活垃圾依托医院收运系统，交由环卫部门处理；铅防护用品在使用一定年限后屏蔽能力减弱，不能达到原有使用功能后由医院收集妥善保存；报废的DSA和直线加速器CBCT按照要求对其装置内的X射线管进行去功能化后，交由有资质单位回收，保留回收手续并做好相关记录存档；加速器机头更换组件交由厂家或维修单位按相关规定进行处理。

（5）事故风险：通过事故风险分析，本项目产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射，可能发生一般辐射事故，项目可能导致最严重辐射事故等级为重大辐射事故。本项目在采取相应措施后风险可防可控。医院制订的辐射事故应急处置预案和安全规章制度内容较全面、措施可行，在进一步完善后应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故和突发事件。

13.8 辐射与环境保护管理

医院成立了辐射防护管理组织与机构，制定了各项规章制度、操作规程、应急处理措施等，制度基本健全、具有可操作性。但仍需按照新的法律法规、标准等完善现有管理制度，并加强日常应急响应的准备工作及应急演练。医院应严格执行各项规章制度执

行，放射工作人员需经辐射防护与安全培训并考核合格后才能上岗，在工作时正确佩戴个人剂量计，定期进行检测并进行健康体检。医院还应在今后的工作中，不断完善相关管理制度，加强管理，杜绝辐射事故的发生。

综上所述，重庆市武隆区人民医院内科综合楼建设项目（辐射部分）符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”要求，项目选址可行，平面布局合理。在完善相应的辐射安全防护措施和管理措施后，项目环境风险可防可控，能够实现辐射防护安全目标及污染物的达标排放。因此，从环境保护的角度来看，该项目的建设是可行的。



审图号：渝S(2024)054号

重庆市规划和自然资源局 监制 二〇二四年六月



附图1 拟建项目地理位置图